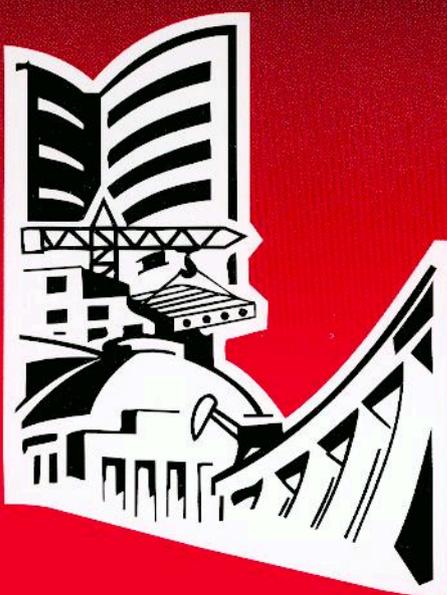


**ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ**



**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**7  
2007**

ББК 38  
И 33  
УДК 69

**Главный редактор В. Г. СЕБЕШЕВ**  
**Заместители главного редактора В. И. КОСТИН, Г. Б. ЛЕБЕДЕВ**  
**Ответственный секретарь Н. В. БИТКИНА**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

проф. А. А. АФАНАСЬЕВ; проф. В. Л. БАЛАДИНСКИЙ; засл. деятель науки и техники России, проф. Т. И. БАРАНОВА; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ВОРОБЬЕВ; проф. П. А. ДМИТРИЕВ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ИГНАТЬЕВ; проф. В. И. КОСТИН; доц. Г. Б. ЛЕБЕДЕВ; проф. Е. М. ЛОБАНОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Л. С. ЛЯХОВИЧ; проф. В. И. МОРОЗОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Ю. П. ПАНИБРАТОВ; проф. Ю. А. ПОПОВ; проф. Ю. П. ПРАВДИВЕЦ; проф. В. Г. СЕБЕШЕВ; проф. И. Б. СОКОЛОВ; проф. Ю. А. ФЕОФАНОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. М. ХРУЛЕВ; проф. Е. М. ЧЕРНЫШОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Г. Н. ШОРШНЕВ

Научное издание

**Известия вузов**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 7 (583) 2007**

Научно-теоретический журнал

*Редакторы: Н. Г. Павлова, С. М. Погудина*  
*Технический редактор Н. М. Макаренко*  
*Компьютерная верстка Р. Г. Усова*  
*Корректор В. В. Борисова*

Подписано в печать с оригинал-макета 25.06.07. Формат 70×108  $\frac{1}{16}$ . Бумага типографская № 2. Гарнитура Антиква. Офсетная печать. Усл. печ. л. 10,85+0,35. Уч.-изд. л. 11,1. Тираж 400 экз. Заказ № 3505. Цена 90 р.

Адрес редакции: 630008, г. Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,  
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz\_str@sibstrim.ru

ОАО «Новосибирский полиграфкомбинат», 630007, г. Новосибирск, 7, Красный проспект, 22,  
телефон 223-64-47.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
АССОЦИАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ  
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# СТРОИТЕЛЬСТВО

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 7 (583)

Июль 2007 г.

Издается с марта 1958 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Демешкин А. Г., Кургузов В. Д. Об отрыве балки, частично приклеенной к жесткой плите ..... 4
- Зубчанинов В. Г., Охлопков Н. Л., Третьяков К. И. К решению задачи построения образа процесса нагружения материала на пространственных винтовых траекториях деформирования ..... 13

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Прошин А. П., Данилов А. М., Гарькина И. А. Синтез композиционных материалов: системный подход и пример реализации ..... 18
- Гридчин А. М., Севостьянов В. С., Лесовик В. С., Глаголев С. Н., Севостьянов М. В., Фуников И. М., Уральский А. В. Технологические комплексы для производства поризованных заполнителей из техногенных материалов ..... 22
- Бердов Г. И., Машкин А. Н. Активирование цементной суспензии для получения высококачественного бетона ..... 28
- Завадский В. Ф., Корнев Е. С., Завадская Л. В. Формирование структуры и прочности между бетонами различной плотности при получении стеновых изделий ..... 32
- Селяев В. П., Низина Т. А., Лазарев А. Л., Ланкина Ю. А., Цыганов В. В. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих ..... 36
- Вдовина Е. В., Шевандо В. В., Абдрахимов А. В., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Исследование бейделлитовой глины для производства керамических материалов ..... 41

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Кузьминский А. Г., Изатов В. А., Черенков В. В. Методика экономического обоснования выбора инвестором варианта конструктивного решения жилого здания ..... 46
- Романова А. И., Ибрагимова А. Р., Хатыпов А. М. Оценка конкурентных преимуществ строительного предприятия ..... 51
- Молодин В. В., Андриевский С. Н., Лунев Ю. В. Управляемый температурный режим тепловой обработки бетона при зимнем бетонировании элементов монолитного каркаса жилых и гражданских зданий ..... 55
- Шиндина Т. А. О путях повышения эффективности деятельности строительного комплекса России ..... 64

Издатель НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин), 2007

## ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Букреев В. И., Дегтярев В. В., Чеботников А. В. Методика экспериментального исследования силового воздействия волн на препятствия .....	70
---	----

## САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Аверкин А. Г. К вопросу утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования .....	76
Полосин И. И., Яременко С. А. Влияние запыленности воздушного потока на эффективность глушителей аэродинамического шума в системах механической вентиляции .....	82
Генцлер Г. Л., Чистова Н. Г., Рубинская А. В., Матыгулина В. Н. Совершенствование технологии флотационной обработки стоков деревообрабатывающих предприятий .....	85

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Кутумов А. А., Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А. Некоторые вибрационные характеристики дроссельного пневмоударного механизма навесного молота .....	89
Мещеряков В. А. Динамическая модель формирования призмы волочения поворотного отвала землеройно-транспортной машины .....	94

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

Махнева-Барабанова О. А. Архитектор К.-Н. Леду: восьмая ограда Парижа .....	97
---	----

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Васенков Д. И. Методика поиска площадок строительства гаражей для личных легковых автомобилей, основанная на системе их рациональных структур .....	104
Криворотов А. П., Лубягин А. В., Савков П. А., Зубачев П. В. К оценке сжимаемости геотехногенных оснований зданий и сооружений .....	108
Сулейманова Л. А., Ерохина И. А., Сулейманов А. Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве .....	113

## В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

Албаут Г. Н., Пуртов В. В., Павлик А. В., Табанюхова М. В., Михеева О. А. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами поляризационно-оптическим методом при действии кратковременных нагрузок .....	116
Турков А. В., Гвозков П. А., Бояркина О. В. Экспериментальная оценка степени податливости укрупнительных стыков балок по результатам динамических исследований .....	122

## CONTENTS

### THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Demeshkin A. G., Kurguzov V. D. On the Separation of a Beam Partially Pasted to the Rigid Plate .....	4
Zubchaninov V. G., Okhlopkov N. L., Tretiyakov K. I. Towards the Solution of the Problem to Construct the Process Shape to Load Material on the Space Spiral Trajectories of Deformation .....	13

### BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

<b>Proshin A. P.</b> , Danilov A. M., Garkina I. A. Composite Material's Synthesis: The System Approach and Realization Example .....	18
Gridchin A. M., Sevostyanov V. S., Lesovik V. S., Glagolev S. N., Sevostyanov M. V., Funikov I. M., Uralsky A. V. Technological Complexes to Produce Porous Fillers of Technogenic Materials .....	22
Berdov G. I., Mashkin A. N. Activation of Cement Suspension to Produce High Quality Concrete .....	28
Zavadsky V. F., Kornev E. S., Zavadskaya L. V. Formation of Structure and Strength between Concretes of Different Density in Case of Wall Products Manufactures .....	32
Selyaev V. P., Nizina T. A., Lazarev A. L., Lankina Yu. A., Tsyganov V. V. Functional and Gradient Coats Based on Polymer Binders .....	36
Vdovina E. V., Shevando V. V., Abdrakhimov A. V., Abdrakhimov V. Z., Abdrakhimova E. S. Examination of Beydellit Clay to Produce Ceramic Materials .....	41

**ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION  
AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY**

<b>Kuzminsky A. G., Izatov V. A., Cherenkov V. V.</b> Methods of the Economic Background of Investor's Variant Choice for Constructive Dwelling Design .....	46
<b>Romanova A. I., Ibragimova A. R., Khatypov A. M.</b> Estimation of Competitive Priorities of a Building Enterprise .....	51
<b>Molodin V. V., Andrievsky S. N., Lunev Yu. V.</b> Controlled Temperature Condition of Heat Treatment of Concrete in Winter Concreting of Elements of Monolith Frame of Living and Civil Houses .....	55
<b>Shindina T. A.</b> On Ways of Effectiveness Increase of a Building Complex Activity in Russia .....	64

**HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION**

<b>Bukreyev V. I., Degtyarev V. V., Chebotnikov A. V.</b> Methods of Experimental Investigation of Waves Power Action on Obstacles .....	70
--	----

**SANITARY ENGINEERING**

<b>Averkin A. G.</b> Towards the Problem of Removing Air Warmth in Systems of Ventilation and Conditioning .....	76
<b>Polosin I. I., Yaremenko S. A.</b> The Influence of Airflow Dusting on the Effectiveness of Aerodynamic Noise Mufflers in Mechanical Ventilation Systems .....	82
<b>Gentsler G. L., Chistova N. G., Rubinskaya A. V., Matygulina V. N.</b> Upgrading of the Technology of Wood Processing Plants' Sewage Flotation Treatment .....	85

**BUILDING AND ROAD MACHINES**

<b>Kutumov A. A., Abramenzov D. E., Abramenzov E. A.</b> Certain Vibration Characteristics of Throttle Percussion Mechanisms Overhanging Hammer .....	89
<b>Mishcheryakov V. A.</b> A Dynamic Model of Prism Formation for Rotary Blade Pulling in a Earth Moving Machine .....	94

**SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY**

<b>Makhneva-Barabanova O. A.</b> Architect K.-N. Ledu: The Eighth Fence of Paris ..	97
---	----

**SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION**

<b>Vasenzov D. I.</b> Methods of Looking for Sites to Build Garages for Private Cars Based on the System of Rational Structures .....	104
<b>Krivorotov A. P., Lubyagin A. V., Savkov P. A., Zubachev P. V.</b> Towards the Estimation of Compressibility of Geotechnogenic Foundations of Buildings and Structures .....	108
<b>Suleymanova L. A., Erohina I. A., Suleymanov A. G.</b> Resourcesaving Materials in Construction .....	113

**IN HIGHER SCHOOL LABS**

<b>Albaut G. N., Purtov V. V., Pavlik A. V., Tabanyukhova M. V., Mikheyeva O. A.</b> Investigation of Wooden Elements Joints on Metal Plates and Expansion Bolts with Racky and Washers by the Polarization-Optical Method in Case of Transitory Load Action .....	116
<b>Turkov A. V., Gvozkov P. A., Boyarkina O. V.</b> Experimental Estimation of Compliance Degree of Enlarged Joints of Beams according to the Results of Dynamic Investigations .....	122

**К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ**

Журнал «Известия вузов. Строительство» включен в новый «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», утвержденный Президиумом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации и введенный в действие с 01 января 2007 г. (см. Бюллетень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, № 1, 2007 г.).

# ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 539.3

А. Г. ДЕМЕШКИН, канд. физ.-мат. наук, доц., В. Д. КУРГУЗОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. (Институт гидродинамики, г. Новосибирск)

## ОБ ОТРЫВЕ БАЛКИ, ЧАСТИЧНО ПРИКЛЕЕННОЙ К ЖЕСТКОЙ ПЛИТЕ\*

Рассмотрена контактная задача об отрыве упругой балки, частично приклеенной к жесткой плите. Сформулирован критерий определения границы области отслоения балки от жесткого основания. Получены аналитические зависимости размеров зоны отслоения от величины приложенной нагрузки. Предложена математическая модель и проведено сравнение теоретических и экспериментальных данных.

В строительных конструкциях клеевые соединения возникают при склеивании массива древесины и монтажном склеивании при производстве изделий из дерева и материалов на древесной основе. Рассмотрим контактную задачу об отрыве упругой балки, частично приклеенной к жесткой плите. Поверхность контакта состоит из последовательного сочетания областей, на которых балка приклеена и не приклеена к жесткому основанию. К торцу балки прикладывается возрастающая поперечная нагрузка. При достижении предельного значения нагрузки происходит отрыв балки. Возникает зона отслоения, граница которой неизвестна и должна быть определена в ходе решения.

Предлагается математическая модель задачи, построенная на основе структурного подхода. Балка представляется в виде совокупности структурных элементов. В зависимости от граничных условий на контактной поверхности рассматриваются три типа структурных элементов: первый соответствует зоне отслоения (нормальные и касательные напряжения равны нулю); второй — области контакта, где балка приклеена к основанию (нормальные и касательные контактные перемещения равны нулю); третий — области контакта, где балка лежит на жестком основании, но не приклеена к нему (нормальные перемещения и касательные напряжения равны нулю). Структурные связи определяются из условий сопряжения структурных элементов. Для каждого типа структурного элемента решается своя краевая задача. Полученные решения путем удовлетворения структурных связей объединяются в решение для всей структуры (балки) в целом.

Известны различные способы решения контактных задач упругих пластин и оболочек (например, [1–3]). Были получены уравнения упругого деформирования пластин и оболочек, основанные на разложении искомым функций в ряды по полиномам Лежандра [4, 5]. Особенностью этого подхода является применение нескольких аппроксимаций для одних и тех же неизвестных функций. Допускается задание произвольных условий на лицевых поверхностях без понижения дифференциального порядка уравнений.

В данной работе подобные уравнения используются при решении задачи об отрыве упругой балки, частично приклеенной к жесткой плите. Ранее различные варианты таких уравнений применялись, например, при решении плоской контактной задачи для упругого слоя [6], задачи изгиба трехслойной балки [7], задачи об отрыве упругой балки, приклеенной к жесткой плите [8].

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 07-01-00163, 05-08-01395)

Произвольное задание граничных условий на лицевых поверхностях без понижения дифференциального порядка уравнений позволяет корректно формулировать условия стыковки структурных элементов разных типов и определять границу зоны отслоения. На поверхностях сопряжения структурных элементов должны быть непрерывны усилия, моменты, перемещения и углы поворота. Формулируется критерий определения границы области отслоения балки от жесткого основания. Получены аналитические зависимости размеров зоны отслоения от величины приложенной нагрузки.

В экспериментах балки-образцы одинаковых размеров по толщине, ширине и длине приклеивались к жесткой прозрачной плите из оргстекла. Зона отслоения балки-образца при нагружении достаточно точно определялась визуально и находилась по шкале в соответствии с изменением прозрачности разрушенного клеевого слоя. В ходе эксперимента измерялись нагрузка и зона отслоения балки-образца.

Проведенное сравнение теоретических расчетов и результатов экспериментальных замеров зон отслоения показало их качественное согласование.

**Постановка задачи.** Балка единичной ширины, толщины  $2h$  и длины  $l$  частично приклеена к жесткой плите. На краю  $x = 0$  приложена сила  $Q_0$ . В начальный момент контактная поверхность состоит из последовательности приклеенных и не приклеенных к основанию  $n$  участков (рис. 1). Приклеенные участки отмечены штриховкой. С ростом величины  $Q_0$  наступает момент, когда нагрузка достигает критического значения  $Q_0 = Q_*$ , и происходит отрыв балки от плиты. Возникает зона отслоения  $0 \leq x \leq l_*$  (рис. 2).

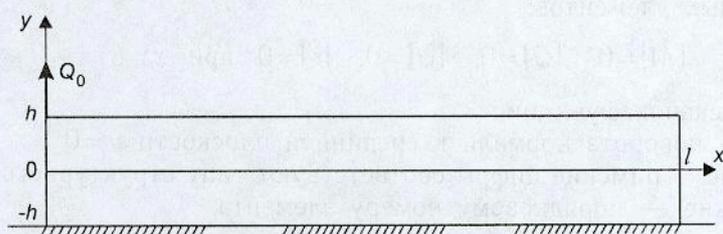


Рис. 1. Схема нагружения частично приклеенной к жесткой плите упругой балки

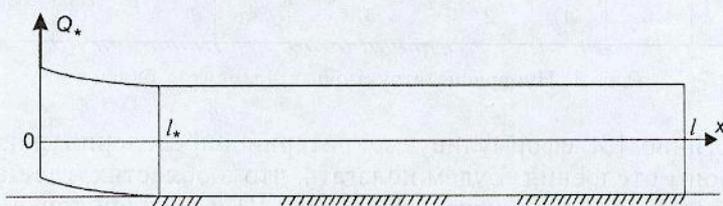


Рис. 2. Возникновение зоны отслоения при отрыве балки от плиты

Математическая модель деформирования упругой балки, приклеенной к жесткому основанию, построена в [8], там же приведен метод решения полученной системы дифференциальных уравнений.

На торцах балки ставятся граничные условия:

$$N = 0, \quad M = 0, \quad Q = Q_0 \quad \text{при} \quad x = 0; \quad (1)$$

$$N = 0, \quad M = 0, \quad Q = 0 \quad \text{при} \quad x = l, \quad (2)$$

где  $N$  — усилие;

$M$  — момент;

$Q$  — перерезывающая сила.

Лицевая поверхность  $\xi = 1$  ( $\xi = y/h$ ) свободна от напряжений:

$$q^+ = 0, \quad p^+ = 0 \quad \text{при } 0 \leq x \leq l. \quad (3)$$

Рассмотрим три вида граничных условий на контактной поверхности  $\xi = -1$ . В зоне отслоения поверхность  $\xi = -1$  свободна от напряжений:

$$q^- = 0, \quad p^- = 0. \quad (4)$$

В зоне, где балка приклеена к основанию, имеет место полный контакт:

$$u^- = 0, \quad v^- = 0. \quad (5)$$

В зоне, где балка лежит на плите и не приклеена, ставятся следующие граничные условия:

$$q^- = 0, \quad v^- = 0. \quad (6)$$

Здесь  $p^\pm, q^\pm$  — нормальные и касательные напряжения;  $v^\pm, u^\pm$  — нормальные и касательные перемещения на контактных поверхностях  $\xi = \pm 1$ .

Разобьем балку на фрагменты — структурные элементы. В зависимости от граничных условий на контактной поверхности рассмотрим три типа структурных элементов: первый соответствует условиям (4), второй — условиям (5), третий — условиям (6).

Структурные связи определяются из условий сопряжения на стыках структурных элементов:

$$[M] = 0, \quad [Q] = 0, \quad [\psi] = 0, \quad [v] = 0 \quad \text{при } x = l_i, \quad (7)$$

где  $[ \cdot ]$  — скачок функции;

$\psi$  — угол поворота нормали к срединной плоскости  $y = 0$ .

На рис. 3 римские цифры соответствуют типу структурного элемента, арабские — порядковому номеру элемента.

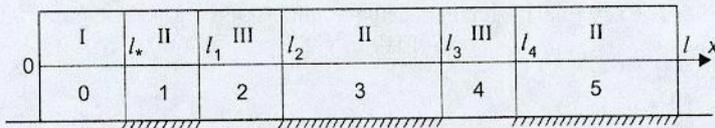


Рис. 3. Нумерация структурных элементов балки

Аналогично [8] сформулируем критерий определения неизвестной границы зоны отслоения. Будем полагать, что в областях, где балка приклеена к основанию (структурный элемент II), в каждой точке нормальные напряжения удовлетворяют неравенству  $p^- < \sigma_0$ , где  $\sigma_0$  — некоторая положительная величина, характеризующая прочностные свойства клеевого слоя. Как только в некоторой точке нормальные напряжения достигают значения  $\sigma_0$ , эта точка становится точкой отслоения  $x = l_*$ . Таким образом, имеет место равенство

$$p^- = \sigma_0 \quad \text{при } x = l_*. \quad (8)$$

Решение задачи. На первом этапе построим решение для каждого типа структурного элемента отдельно. Обозначим через  $l_-, l_+$  границы элемента ( $x \in [l_-; l_+]$ ), а через  $l_\Delta = l_+ - l_-$  — его длину. Здесь и в дальнейшем приняты обозначения:  $(\cdot)_+$  или  $(\cdot)_-$  означает, что данная величина относится к правой или левой границе. Для каждого элемента введем локальную безразмерную переменную  $\eta = (x - l_-)/h$ ,  $\eta \in [-l_\Delta/h; 0]$ .

Для структурного элемента первого типа, следуя [8], получим линейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений четвертого порядка:

$$\frac{dM}{d\eta} = hQ; \quad \frac{dQ}{d\eta} = 0; \quad \frac{d\psi}{d\eta} = \frac{3M}{2hE}; \quad \frac{dv}{d\eta} = -\psi + \frac{3}{5\mu} Q, \quad (9)$$

где  $E$  — модуль Юнга;  
 $\mu$  — модуль сдвига.

Соответствующее характеристическое уравнение имеет вид  $\lambda^4 = 0$ . В этом случае решение системы (9) для неизвестных функций представляется в виде полиномов разных степеней.

Введем вектор функций  $\mathbf{z} = \{z_k\}$  ( $k=1, \dots, 4$ ),

где

$$z_1 = \psi; \quad z_2 = \frac{M}{Eh}; \quad z_3 = \frac{Q}{E}; \quad z_4 = v.$$

Решение системы (9) представим в векторной форме:

$$\mathbf{z}(\eta) = A^1(\eta)\mathbf{z}_+, \quad (10)$$

где  $A^1(\eta) = \begin{pmatrix} 1 & 1,5\eta & 0,75\eta^2 & 0 \\ 0 & 1 & \eta & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \eta & -0,75\eta^2 & -0,25\eta^3 + 0,6\kappa\eta & 1 \end{pmatrix}; \quad \kappa = E/\mu.$

Правый верхний индекс соответствует типу структурного элемента.

Неизвестными постоянными являются значения искомых функций на правом торце, т. е. компоненты вектора  $\mathbf{z}_+$ . Из (10) получаем связь между значениями вектора  $\mathbf{z}$  на торцах структурного элемента:

$$\mathbf{z}_- = B\mathbf{z}_+; \quad B = A^1(-l_\Delta/h). \quad (11)$$

Для структурного элемента второго типа, следуя [8], получим линейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d\eta} &= \frac{15h\mu}{4}\psi + \frac{5h}{8}Q; & \frac{dQ}{d\eta} &= \frac{3E}{2}v; \\ \frac{d\psi}{d\eta} &= \frac{3M}{2hE}; & \frac{dv}{d\eta} &= -\frac{5}{8}\psi + \frac{9}{16\mu}Q. \end{aligned} \quad (12)$$

Соответствующее характеристическое уравнение  $\lambda^4 - c\lambda^2 + 0,25d^2 = 0$  имеет четыре комплексно-сопряженных корня  $\lambda_k = \pm(\alpha \pm i\beta)$ . Постоянные  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $c$ ,  $d$  определяются по формулам

$$c = \frac{9}{16} \left( \frac{10}{\kappa} + \frac{3\kappa}{2} \right), \quad d = \frac{3}{2} \sqrt{10}, \quad \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{c+d}, \quad \beta = \frac{1}{2} \sqrt{-c+d}.$$

Пусть  $\mathbf{c} = \{c_k\}$  ( $k=1, \dots, 4$ ) — вектор неизвестных постоянных, а  $f_k$  ( $k=1, \dots, 4$ ) — функции

$$\begin{aligned} f_1(\eta) &= \text{ch}(\alpha\eta)\cos(\beta\eta), & f_2(\eta) &= \text{ch}(\alpha\eta)\sin(\beta\eta), \\ f_3(\eta) &= \text{sh}(\alpha\eta)\cos(\beta\eta), & f_4(\eta) &= \text{sh}(\alpha\eta)\sin(\beta\eta). \end{aligned} \quad (13)$$

Общее решение системы (12) для вектора неизвестных  $\mathbf{z}$  имеет вид

$$\mathbf{z}(\eta) = F^{\text{II}}(\eta)\mathbf{c}. \quad (14)$$

Здесь  $F^{II}(\eta)$  — матрица размером  $4 \times 4$  с элементами  $F_{ij}^{II}$ :

$$F_{1i}^{II} = \dot{f}_i, \quad F_{2i}^{II} = \frac{2}{3} \frac{d\dot{f}_i}{d\eta}; \quad F_{3i}^{II} = \frac{16}{15} \left( \frac{d^2 \dot{f}_i}{d\eta^2} - t \dot{f}_i \right);$$

$$F_{4i}^{II} = \frac{32}{45} \left( \frac{d^3 \dot{f}_i}{d\eta^3} - t \frac{d\dot{f}_i}{d\eta} \right); \quad t = \frac{45}{8\kappa}, \quad i = 1, \dots, 4.$$

Решение (14) можно записать в виде, аналогичном (10):

$$\mathbf{z}(\eta) = A^{II}(\eta)\mathbf{z}_+; \quad A^{II}(\eta) = F^{II}(\eta)G^{II}, \quad (15)$$

где  $G^{II}$  — матрица, обратная матрице  $F^{II}(0)$ .

Из (15) получаем связь между значениями вектора  $\mathbf{z}$  на торцах структурного элемента второго типа:

$$\mathbf{z}_- = B\mathbf{z}_+; \quad B = A^{II}(-l_\Delta / h).$$

Процедура получения решения для структурного элемента третьего типа аналогична первым двум случаям. Уравнения (12)–(14) [8] дополним соответствующими данному структурному элементу граничными условиями (3), (6). После приведения подобных получим линейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dM}{d\eta} = hQ; \quad \frac{dQ}{d\eta} = \frac{3}{2}Ev; \quad \frac{d\psi}{d\eta} = \frac{3M}{2hE}; \quad \frac{dv}{d\eta} = -\psi + \frac{1}{10\mu}Q. \quad (16)$$

Соответствующее характеристическое уравнение  $\lambda^4 - c\lambda^2 + 0,25d^2 = 0$  имеет четыре комплексно-сопряженных корня  $\lambda_k = \pm(\alpha \pm i\beta)$ . Как и в предыдущем случае, общее решение системы (16) для вектора неизвестных  $\mathbf{z}$  записывается в виде

$$\mathbf{z} = F^{III}(\eta)\mathbf{c}. \quad (17)$$

Здесь  $F^{III}(\eta)$  матрица размером  $4 \times 4$  с элементами  $F_{ij}^{III}(\eta)$ :

$$F_{1i}^{III} = \dot{f}_i; \quad F_{2i}^{III} = \frac{2}{3} \frac{d\dot{f}_i}{d\eta}; \quad F_{3i}^{III} = \frac{2}{3} \frac{d^2 \dot{f}_i}{d\eta^2}; \quad F_{4i}^{III} = \frac{4}{9} \frac{d^3 \dot{f}_i}{d\eta^3}; \quad i = 1, \dots, 4.$$

Функции  $\dot{f}_i(\eta)$  имеют вид (13), а постоянные  $c$ ,  $d$  и  $\alpha$ ,  $\beta$  определяются по формулам

$$c = \frac{3\kappa}{20}, \quad d = \frac{9}{4}, \quad \alpha = \frac{1}{2}\sqrt{c+d}, \quad \beta = \frac{1}{2}\sqrt{-c+d}.$$

Решение (17) можно записать в виде, аналогичном (10):

$$\mathbf{z}(\eta) = A^{III}(\eta)\mathbf{z}_+; \quad A^{III}(\eta) = F^{III}(\eta)G^{III}, \quad (18)$$

где  $G^{III}$  — матрица, обратная матрице  $F^{III}(0)$ .

Из (18) получаем связь между значениями вектора  $\mathbf{z}$  на торцах структурного элемента третьего типа:

$$\mathbf{z}_- = B\mathbf{z}_+; \quad B = A^{III}(-l_\Delta / h). \quad (19)$$

Формулы (10), (14), (18) определяют решения для трех типов структурных элементов. Чтобы получить решение задачи для всей структуры (балки) в целом, необходимо произвести склейку полученных выше решений. Для этого воспользуемся структурными связями (7).

Рассмотрим структурный элемент с порядковым номером  $i$ . Границам соответствуют значения  $l_+ = l_i$ ,  $l_- = l_{i-1}$ , а соответствующая локальная координата определяется по формуле  $\eta_i = (x - l_i) / h$ .

Решение  $\mathbf{z}_i(\eta_i)$  имеет вид

$$\mathbf{z}_i(\eta_i) = A^m(\eta_i)(\mathbf{z}_i)_+, \quad (20)$$

где индекс  $m$  принимает значения от I до III в зависимости от типа  $i$ -го структурного элемента.

Связь между значениями вектора  $\mathbf{z}_i$  на торцах:

$$(\mathbf{z}_i)_- = B_i(\mathbf{z}_i)_+. \quad (21)$$

В зависимости от типа  $i$ -го структурного элемента матрицы  $B_i$  вычисляются по формулам (11), (15), (19) соответственно.

Для элемента с номером  $i+1$  имеем

$$(\mathbf{z}_{i+1})_- = B_{i+1}(\mathbf{z}_{i+1})_+. \quad (22)$$

Условия сопряжения (7) на общей границе  $i$ -го и  $i+1$ -го элементов при  $x = l_i$  принимают вид

$$(\mathbf{z}_i)_+ = (\mathbf{z}_{i+1})_-. \quad (23)$$

Из формул (21)–(23) получаем следующие зависимости:

$$(\mathbf{z}_i)_+ = B_{i+1}(\mathbf{z}_{i+1})_+; \quad (\mathbf{z}_i)_- = B_i B_{i+1}(\mathbf{z}_{i+1})_+.$$

Продолжая аналогичную процедуру последовательного присоединения структурных элементов справа до крайнего  $L$ -го, получим следующие равенства:

$$(\mathbf{z}_i)_+ = D_{i+1}(\mathbf{z}_L)_+; \quad (\mathbf{z}_i)_- = D_i(\mathbf{z}_L)_+; \quad D_i = \prod_{k=i}^L B_k. \quad (24)$$

Из формул (20), (24) следует, что решение в каждом структурном элементе определяется с точностью до четырех произвольных постоянных  $(\mathbf{z}_L)_+$ .

В начальный момент контактная поверхность состоит из приклеенных и несклеенных участков (структурные элементы второго и третьего типов). При достижении нагрузкой  $Q_0$  предельного значения  $Q_*$  возникает зона отслоения с границей  $l_*$ ,  $x \in [0; l_*]$ . При увеличении  $l_*$  зона отслоения расширяется, ее граница  $l_*$  перемещается слева направо и проходит через приклеенные и несклеенные фрагменты балки.

Предположим, что граница зоны отслоения известна, т. е. величина  $l_*$  задана,  $l_* \in [0; l]$ . Пусть  $i_*$  — номер участка, которому принадлежит точка  $x = l_*$ , — граница зоны отслоения,  $l_* \in [l_{i_*-1}; l_{i_*}]$ . Если этот участок не приклеен, то он целиком переходит в зону отслоения. Если участок приклеен, то разбивается на две части: первая при  $x \in [l_{i_*-1}; l_*]$  переходит в зону отслоения, вторая при  $x \in [l_*; l_{i_*}]$  остается приклеенной.

Таким образом, при  $x \in [0; l_*]$  имеем структурный элемент первого типа (зона отслоения) с номером  $i_* - 1$ , а при  $x \in [l_*; l_{i_*}]$  — структурный элемент второго типа с номером  $i_*$ . На границе этих элементов при  $x = l_*$  (точка отслоения) должно выполняться условие (8), которое с учетом равенств (17) [8] можно записать в виде

$$(\mathbf{v}_{i_*})_- = ((\mathbf{z}_4)_{i_*})_- = \frac{2h}{3E} \sigma_0.$$

Откуда, используя (24), получаем уравнение

$$\sum_{k=1}^4 (D_{4k})_{i_*} ((z_k)_L)_+ = \frac{2h}{3E} \sigma_0. \quad (25)$$

В зоне отслоения (участок с номером  $i_* - 1$ ), согласно граничным условиям (1), имеем

$$\frac{M}{Eh} = ((z_2)_{i_*-1})_- = 0, \quad \frac{Q}{E} = ((z_3)_{i_*-1})_- = Q_0 / E.$$

Откуда, используя (24), получаем два уравнения

$$\sum_{k=1}^4 (D_{2k})_{i_*-1} ((z_k)_L)_+ = 0, \quad (26)$$

$$\sum_{k=1}^4 (D_{3k})_{i_*-1} ((z_k)_L)_+ = Q_0 / E. \quad (27)$$

На участке с номером  $L$ , согласно граничным условиям (2), имеем

$$\frac{M}{Eh} = ((z_2)_L)_+ = 0, \quad \frac{Q}{E} = ((z_3)_L)_+ = 0. \quad (28)$$

Подставив (28) в уравнения (25), (26), получим систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} (D_{41})_{i_*} ((z_1)_L)_+ + (D_{44})_{i_*} ((z_4)_L)_+ &= \frac{2h}{3E} \sigma_0; \\ (D_{21})_{i_*-1} ((z_1)_L)_+ + (D_{24})_{i_*-1} ((z_4)_L)_+ &= 0, \end{aligned}$$

решение которой имеет вид

$$((z_1)_L)_+ = \frac{2h\sigma_0}{3E} \frac{(D_{24})_{i_*-1}}{\Delta}, \quad ((z_4)_L)_+ = -\frac{2h\sigma_0}{3E} \frac{(D_{21})_{i_*-1}}{\Delta},$$

где  $\Delta = (D_{41})_{i_*} (D_{24})_{i_*-1} - (D_{44})_{i_*} (D_{21})_{i_*-1}$ .

Из уравнения (27) получаем зависимость между приложенной нагрузкой  $Q_0$  и размером зоны отслоения  $l_*$ :

$$Q_0 = \frac{2}{3} h \sigma_0 \frac{(D_{34})_{i_*-1} (D_{21})_{i_*-1} - (D_{31})_{i_*-1} (D_{24})_{i_*-1}}{\Delta}. \quad (29)$$

**Экспериментальные исследования.** Для обоснования предложенной выше математической модели отрыва частично приклеенной упругой балки от жесткого основания проведена серия экспериментов.

Использовались образцы из оргстекла, стеклопластика и алюминия толщиной  $2h = 3$  мм, шириной  $b = 10$  мм и длиной  $l = 300$  мм, которые приклеивались эпоксидной смолой к жесткой плите из прозрачного оргстекла, что позволяло с достаточной точностью определять длину зоны отслоения образца. Условия экспериментов (размеры образцов, шероховатость приклеиваемых поверхностей, усилие и время склеивания), результаты которых приведены ниже, были одинаковыми. Для каждого вида материала эксперимент повторялся не менее трех раз.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Образец нагружался приложенной на левом торце силой  $Q_0$ , которая измерялась с помощью динамометра. Соответствующая ей длина зоны отслоения  $l_*$  определялась визуально. Плита выполнена из прозрачного оргстекла, поэтому граница зоны отслоения четко видна: прозрачный клеевой слой из эпоксидной смолы в зоне отслоения становится мутным и покрывается мелкими трещинами.

В начальный момент наблюдается следующая картина: нагрузка возрастает до некоторого критического значения  $Q_*$ , причем зоны отслоения не образуется ( $l_* = 0$ ). При  $Q = Q_*$  происходит резкое уменьшение нагрузки при быстром увеличении размеров зоны отслоения. В силу быстротечности процесса граница зоны отслоения  $l_*$  практически мгновенно проскакивает неприклеенный участок и останавливается в начале следующего приклеенного участка, в этот момент удается зафиксировать нагрузку. Для дальнейшего продвижения границы зоны отслоения нагрузка снова увеличивается при постоянной величине  $l_*$ , и по достижении критического значения происходит страгивание трещины, граница зоны отслоения продвигается вперед с одновременным падением нагрузки. Далее процесс повторяется, причем на последующих приклеенных участках критическое значение нагрузки  $Q_*$  становится все меньше и меньше.

В формулу (29) входит физическая постоянная  $\sigma_0$ , характеризующая прочностные свойства клеевого слоя. Эта величина зависит от формы и шероховатости контактных поверхностей, свойств клея, характеристик контактирующих тел и т. д. Поэтому целесообразно определить ее непосредственно из проведенных экспериментов. При  $l_* = 0$  имеем  $Q_0 = Q_*$ , где  $Q_*$  — критическая нагрузка. С учетом ширины образца  $b$  запишем формулу (29) в виде

$$Q_0 = \frac{2}{3} hb\sigma_0 \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad (30)$$

где  $\Delta_1 = (D_{34})_{i_*-1}(D_{21})_{i_*-1} - (D_{31})_{i_*-1}(D_{24})_{i_*-1}$ . Подставляя в (30) значение критической нагрузки  $Q_*$ , находим предел прочности клеевого слоя

$$\sigma_0 = \frac{3\Delta}{2hb\Delta_1} Q_*. \quad (31)$$

Поскольку значения  $Q_*$  в эксперименте для разных образцов различные (разброс составлял не более 12%), в расчетах и формуле (31) используется среднее значение. Для алюминия  $Q_* = 9,57$  кг, для стеклопластика  $Q_* = 7,53$  кг, для оргстекла  $Q_* = 3,9$  кг. Модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  в расчетах принимались следующими: для алюминия  $E = 7000$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\nu = 0,27$ ; для стеклопластика  $E = 2800$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\nu = 0,25$ ; для оргстекла  $E = 300$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\nu = 0,35$ .

На рис. 4 приведены теоретические и экспериментальные зависимости  $Q_0$  от  $l_*$  для алюминия (а), стеклопластика (б) и оргстекла (в). Сплошные линии получены по формуле (38), точки — данные эксперимента. Границы приклеенных и неприклеенных участков для алюминия и оргстекла находятся в точках 40, 85, 125, 149 и 194 мм, для стеклопластика — в точках 24, 48, 72, 96 и 120 мм. В точках разрыва теоретической зависимости  $Q_0(l_*)$  ( $l_* = 85, 149$  мм — для алюминия и оргстекла,  $l_* = 48,96$  мм — для стеклопластика) нижняя экспериментальная точка относится к значению функции слева, верхняя — к значению функции справа, причем эти значения получены осреднением данных трех экспериментов. В начальный момент ( $l_* = 0$ ) на рис. 4 приведены три значения критической нагрузки  $Q_*$ , полученные в экспериментах. Из приведенных зависимостей следует хорошее качественное, а при больших значениях  $l_*$  и количественное соответствие теоретических и экспериментальных данных.

Таким образом, на основе математической модели [8] построен численный алгоритм решения задачи об отрыве балки, частично приклеенной к жесткой плите. В отличие от [8], построенный алгоритм позволяет решать задачи с чередующимися приклеенными и неприклеенными уча-

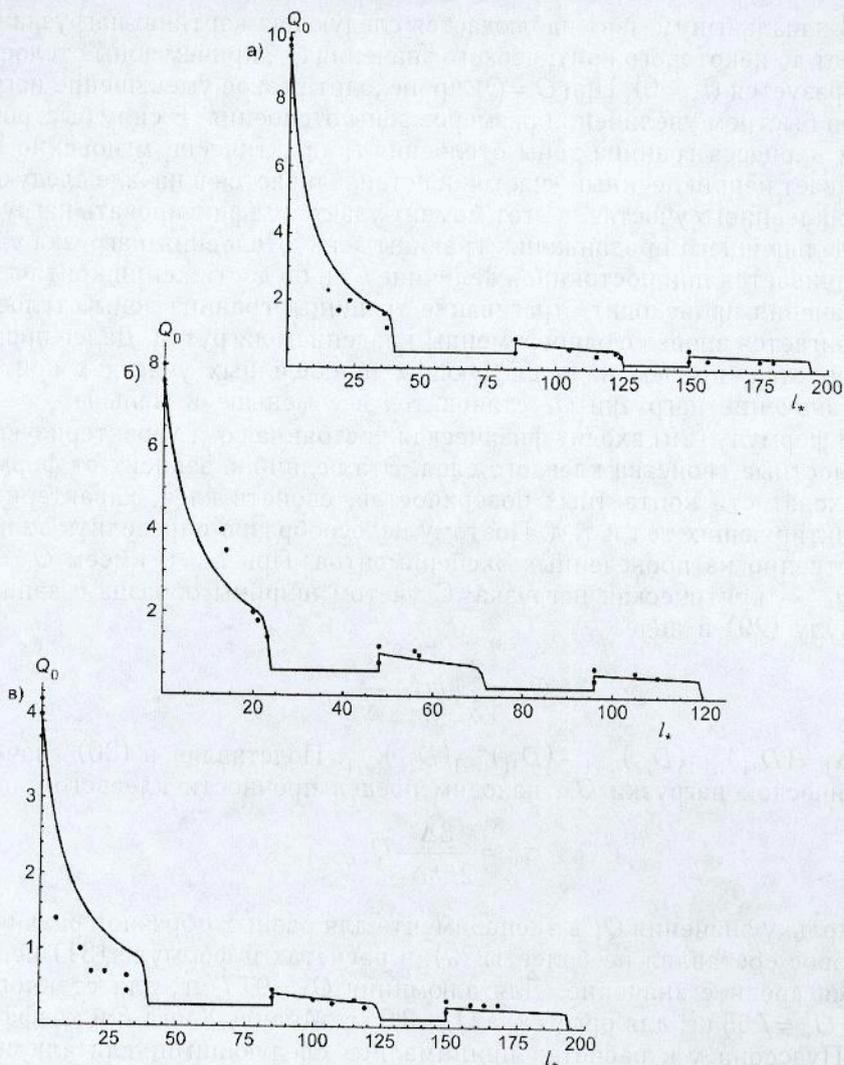


Рис. 4. Теоретические и экспериментальные зависимости  $Q_0$  от  $l_*$  для алюминия (а), стеклопластика (б), оргстекла (в)

стками. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов позволяет сделать вывод, что предложенная математическая модель адекватно описывает реальный процесс отрыва балки, частично приклеенной к жесткой плите.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. М. Некоторые контактные задачи для балок, пластин и оболочек/В. М. Александров//Прикл. математика и механика.— 1965.— Т. 29.— № 4.— С. 782–786.
2. Григолюк Э. И. Контактные задачи теории пластин и оболочек/Э. И. Григолюк, В. М. Толкачев.— М.: Машиностроение, 1980.
3. Пелех Б. Л. Контактные задачи для слоистых элементов конструкций и тел с покрытиями/Б. Л. Пелех, А. В. Максимук, И. М. Коровайчук.— Киев: Наукова думка, 1988.
4. Иванов Г. В. Теория пластин и оболочек/Г. В. Иванов.— Новосибирск: НГУ, 1980.
5. Алексеев А. Е. Построение уравнений слоя переменной толщины на основе разложений по полиномам Лежандра/А. Е. Алексеев//ПМТФ.— 1994.— Т. 35.— № 4.— С. 137–147.

6. Дергилева Л. А. Метод решения плоской контактной задачи для упругого слоя/Л. А. Дергилева//Динамика сплошной среды. АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т гидродинамики.— 1976.— Вып. 25.— С. 24–32.
7. Алексеев А. Е. Изгиб трехслойной ортотропной балки/А. Е. Алексеев//ПМТФ.— 1995.— Т. 36.— № 3.— С. 158–166.
8. Алексеев А. Е. Об отрыве балки, приклеенной к жесткой плите/А. Е. Алексеев, А. Г. Демешкин//ПМТФ.— 2003.— Т. 44.— № 4.— С. 151–158.

© Демешкин А. Г., Кургузов В. Д., 2007

Получено после доработки 10.04.07

УДК 539.3

**В. Г. ЗУБЧАНИНОВ, Н. Л. ОХЛОПКОВ**, доктора техн. наук, профессора,  
**К. И. ТРЕТЬЯКОВ**, асп. (Тверской государственной технической университет)

### К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗА ПРОЦЕССА НАГРУЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА НА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВИНТОВЫХ ТРАЕКТОРИЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Решение задачи реализовано как на основе общих трехчленных определяющих соотношений теории процессов, так и для частных вариантов, в том числе на основе определяющих соотношений гипотезы малого кручения В. Г. Зубчанинова (при  $\vartheta_2 = 0$ ). В качестве примера представлено решение задачи построения образа процесса нагружения материала на пространственной винтовой траектории с центром кривизны в плоскости  $\vartheta_1 - \vartheta_3$ , смещенным относительно начала координат девиаторного пространства  $\mathcal{E}^{(3)}$  А. А. Ильюшина. Результаты решения сопоставлены с экспериментальными данными.

Рассматривается задача построения образа процесса нагружения материала на винтовых траекториях, реализуемых в девиаторном пространстве деформаций  $\mathcal{E}^{(3)}$  А. А. Ильюшина. Уравнения связи напряжений и деформаций приняты в соответствии с общими трехчленными определяющими соотношениями теории упругопластических процессов [1, 2]:

$$d\bar{\sigma} / dS = M_1 \hat{p}_1 + M \hat{\sigma} + M_3 \hat{p}_3, \quad (1)$$

где

$$M_1 = -[\sigma(d\vartheta_1 / dS - \chi_1 \cos \vartheta_2) + M_3 \sin \vartheta_2 \cos \vartheta_1] / \sin \vartheta_1; \quad (2)$$

$$M = d\sigma / dS - M_1 \cos \vartheta_1 + M_3 \sin \vartheta_1 \sin \vartheta_2; \quad (3)$$

$$M_3 = -\sigma[\sin \vartheta_1 (d\vartheta_2 / dS + \chi_2) + \chi_1 \cos \vartheta_1 \sin \vartheta_2] / \cos \vartheta_2. \quad (4)$$

Здесь  $\vartheta_1$  — угол сближения;

$\vartheta_2$  — угол некомпланарности;

$S$  — длина дуги траектории деформирования;

$\hat{\sigma} = \bar{\sigma} / \sigma$  — единичный вектор напряжений;

$\hat{p}_1 = d\bar{\mathcal{E}} / dS$  — единичный вектор касательной к траектории деформации;

$\bar{\mathcal{E}} = \mathcal{E} \hat{\mathcal{E}}$  — вектор деформации;

$\sigma, \mathcal{E}$  — модули векторов напряжений и деформаций;

$M, M_1, M_3, d\sigma / dS$  — определяющие функции пластичности;

$\chi_1, \chi_2$  — кривизна и кручение траектории деформации соответственно.

Для аналитических в  $\mathcal{E}^{(3)}$  траекторий уравнение (1) при условии  $\chi_1, \chi_2 = \text{const}$  и с учетом преобразования  $d/dS = (d/dt)/\dot{S}$  в скоростях запишем:

$$\begin{aligned} \ddot{\sigma} = & [M_1 + \chi_1 M_3 / \chi_2] \ddot{\Theta} + [d\sigma/dS - M_1 \cos \Theta_1 + \\ & + M_3 \sin \Theta_1 \sin \Theta_2] \dot{S} \dot{\sigma} / \sigma + M_3 \ddot{\Theta} / (\dot{S}^2 \chi_1 \chi_2) \end{aligned} \quad (5)$$

или в скалярном виде

$$\begin{aligned} \dot{S}_{ij} = & [M_1 + \chi_1 M_3 / \chi_2] \dot{\Theta}_{ij} + [d\sigma/dS - M_1 \cos \Theta_1 + \\ & + M_3 \sin \Theta_1 \sin \Theta_2] \dot{S} S_{ij} / \sigma + M_3 \ddot{\Theta}_{ij} / (\dot{S}^2 \chi_1 \chi_2), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $t$  — обобщенный параметр времени, за который может быть принят любой монотонно возрастающий параметр прослеживания процесса сложного деформирования (символ с точкой наверху — дифференцирование по  $t$ ). В дальнейшем используем условие несжимаемости материала  $e_0 = 0$ ,  $e_{ij} = \Theta_{ij}$ .

Рассматривается случай однородного плоского напряженного состояния, которое может быть реализовано в круговых тонкостенных цилиндрических оболочках при воздействии осевой растягивающей силы, крутящего момента и внутреннего давления. Траектории деформирования имеют вид винтовых линий с постоянным шагом винта в направлении координатной оси  $\mathcal{E}_2$  [2, 3]. Центр следа траектории в координатной плоскости  $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$  может быть как совмещен, так и сдвинут относительно начала координат девиаторного пространства  $\mathcal{E}^{(3)}$ .

Решение задачи реализовано на основе общих трехчленных определяющих соотношений теории процессов (1) и для частных вариантов, в том числе:

— на основе определяющих соотношений гипотезы малого кручения В. Г. Зубчанинова (при  $\Theta_2 = 0$ ) [1]

$$d\bar{\sigma}/dS = M_1 \hat{p}_1 + (d\sigma/dS - M_1 \cos \Theta_1) \hat{\sigma} + M_3 \hat{p}_3, \quad (7)$$

$$d\Theta_1/dS = -M_1 \sin \Theta_1 / \sigma + \chi_1, \quad (8)$$

$$M_3 = -\sigma \chi_2 \sin \Theta_1; \quad (9)$$

— на основе определяющих соотношений гипотезы компланарности ( $\Theta_2 = 0$ ,  $\chi_2 = 0$ ) [1]

$$d\bar{\sigma}/dS = M_1 \hat{p}_1 + (d\sigma/dS - M_1 \cos \Theta_1) \hat{\sigma}, \quad (10)$$

$$d\Theta_1/dS = -M_1 \sin \Theta_1 / \sigma + \chi_1. \quad (11)$$

Уравнения (1), (7), (10), совместно с уравнениями для углов прослеживания процесса (8), (11), записанные в скоростях, принимают вид уравнений задачи Коши, которая решается по шагам на основе метода Эйлера — Коши, реализованного по итерационной схеме «прогноз — коррекция» и являющегося аналогом метода Рунге — Кутты второго порядка точности. В решении предусмотрена автоматическая генерация шага нагружения по параметру  $t$ .

В качестве примера представлено решение задачи построения образа процесса нагружения материала на пространственной винтовой траектории деформации с параметрами  $\chi_1 = 199$ ,  $\chi_2 = 16$  и центром кривизны в плоскости  $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ , смещенным относительно начала координат девиаторного пространства  $\mathcal{E}^{(3)}$  (рис. 1). Опыт проведен на тонкостенной круговой цилиндрической оболочке, изготовленной из стали 45 и реализован на автоматизированном расчетно-экспериментальном комплексе СН-ЭВМ [3].

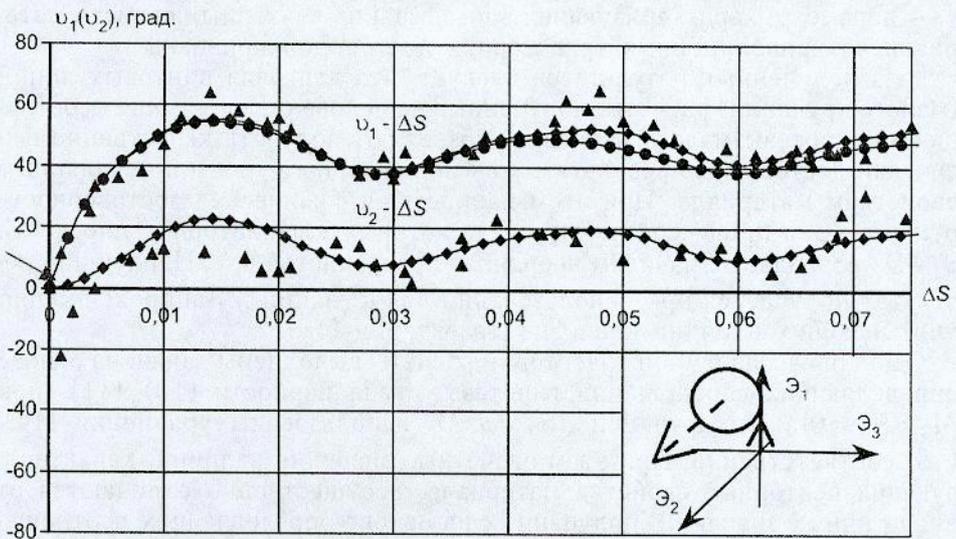


Рис. 1. Диаграммы  $v_1(v_2) - \Delta S$

В расчетах для функции  $\sigma(S)$  использована зависимость [1]

$$\sigma = k\Phi(S) + Af^p(1 - e^{-n\Delta S}), \quad (12)$$

$$A = -\frac{2G + 2G_k^0}{n}, \quad f = (1 - \cos\vartheta_1)/2, \quad (13)$$

где  $G$ ,  $G_k$  — упругий и касательный модули сдвига материала соответственно. Определяющая функция пластичности  $d\sigma/dS$  принята в виде [1]

$$d\sigma/dS = [2G_k - (2G + 2G_k^0)]f^p \left\{ 1 + p \left[ 2(1-f) + \frac{\chi_1}{n} \sqrt{\frac{1-f}{f}} \right] \right\}. \quad (14)$$

Для функции  $M_3$  при использовании определяющих соотношений гипотезы малого кручения имеем уравнение (9). Скорость изменения угла сближения вычисляется как

$$\dot{\vartheta}_1 = (-M_1 \sin\vartheta_1 / \sigma + \chi_1) \dot{S}. \quad (15)$$

Для определяющей функции пластичности  $M_1$  использованы три варианта аппроксимаций:

упрощенный вариант аппроксимации для винтовых линий постоянной кривизны и кручения [1]

$$M_1 = \sigma \cdot n, \quad (16)$$

где  $n = \text{const}$ ;

вариант аппроксимации, полученный в [1], для многосвязных ломаных траекторий

$$M_1 = 2G_p + (2G - 2G_p^0)f^q; \quad (17)$$

вариант аппроксимации, построенный в [3] для криволинейных траекторий,

$$M_1 = 2G_p + (2G - 2G_p^0) - \sigma\chi_1 \{ (1 - \cos\vartheta_1) - (1 - 2\cos\vartheta_1) \exp[-\gamma\Delta S] \}. \quad (18)$$

Здесь  $G_p$  — секущий модуль материала;

$p$ ,  $q$  — параметры аппроксимаций, определяемые на основе базового эксперимента по вееру двузвенных ломаных траекторий;

$\gamma$  — параметр, характеризующий запаздывание векторных свойств материала на криволинейных траекториях постоянной кривизны.

Из полученных результатов следует, что для ряда винтовых линий (малого кручения) расчеты, полученные на основе определяющих соотношений гипотезы малого кручения, позволяют получать качественно физически достоверные результаты как по векторным, так и по скалярным свойствам материала. При этом наибольшая физическая достоверность отмечена для процессов, центр следа которых в девиаторной плоскости  $\Theta_1 - \Theta_3$  совпадает с началом координат пространства  $\Theta^{(3)}$ . Наилучший результат получается при использовании для функции  $M_1$  аппроксимаций, учитывающих влияние кривизны траектории (18).

Для представленной траектории расчеты выполнены также на основе определяющих соотношений гипотезы компланарности (10)–(11) (при  $M_3 = \Theta_2 = 0$ ). Для функций  $d\sigma/dS$ ,  $M_1$  использованы уравнения (14), (18) соответственно. При этом расчетные значения величин, характеризующих векторные свойства материала, несущественно отличаются от аналогичных значений, полученных на основе определяющих соотношений гипотезы малого кручения. Скалярные свойства материала описываются менее корректно.

Представленный процесс сложного деформирования рассчитан также на основе общих трехчленных определяющих соотношений теории пластичности (6). В решении использованы уравнения (12), (14), (18). Для угла некомпланарности  $\Theta_2$  применено уравнение [3]

$$\Theta_2 = k_* \Theta_1 (1 - \cos \Theta_1). \quad (19)$$

Тогда с учетом (19) и (4) для функции  $M_3$  имеем уравнение [3]

$$M_3 = \sigma \{ \sin \Theta_1 [k_* (1 - \cos \Theta_1 + \Theta_1 \sin \Theta_1) (\chi_1) \cos \Theta_2 - M_1 \sin \Theta_1 / \sigma] + \chi_2 \} + \chi_1 \cos \Theta_1 \sin \Theta_2 \} / [k_* \sin \Theta_2 \cos \Theta_1 \sin \Theta_1 (1 - \cos \Theta_1 + \Theta_1 \sin \Theta_1) - \cos \Theta_2]. \quad (20)$$

Здесь  $k_*$  — параметр, зависящий от кривизны траектории.

Результаты расчетов на основе определяющих соотношений гипотезы малого кручения В. Г. Зубчанинова (на рисунках обозначены символом  $\bullet$ ) и на основе общих трехчленных определяющих соотношений теории пластичности (на рисунках — символом  $\blacklozenge$ ) в сопоставлении с экспериментальными данными (на рисунках — символом  $\blacktriangle$ ) представлены на рис. 1–4. На рисунках стрелкой обозначена точка излома траектории.

Графики изменения векторных свойств материала представлены на рис. 1. Графики, отражающие изменение скалярных свойств материала, приведены на рис. 2. На рис. 3–4 в проекциях на координатные плоскости дана траектория нагружения, соответствующая реализованной траектории сложного деформирования материала.

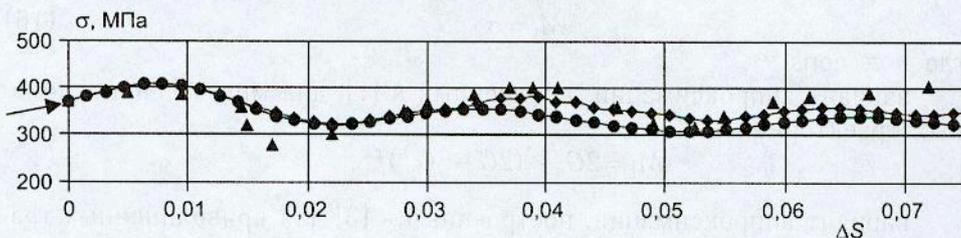


Рис. 2. Диаграмма  $\sigma - \Delta S$

Таким образом, на траекториях произвольной кривизны и малого кручения для процессов, центр следа траекторий которых в плоскости  $\Theta_1 - \Theta_3$  не совпадает с началом координат девиаторного пространства  $\Theta^{(3)}$ , качественно достоверные результаты дают расчеты с использовани-

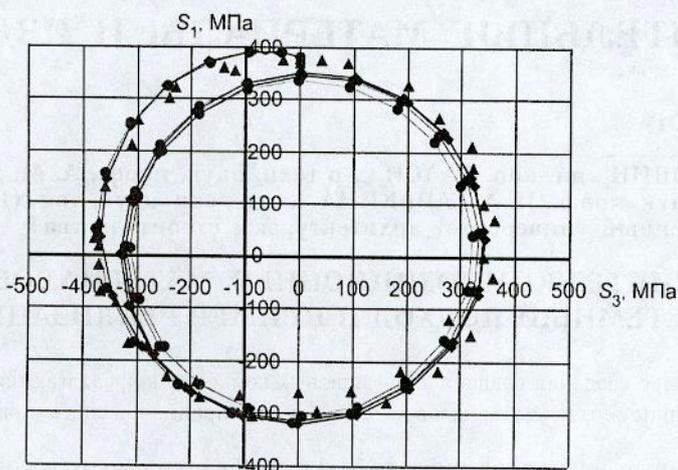


Рис. 3. Диаграмма  $S_1 - S_3$

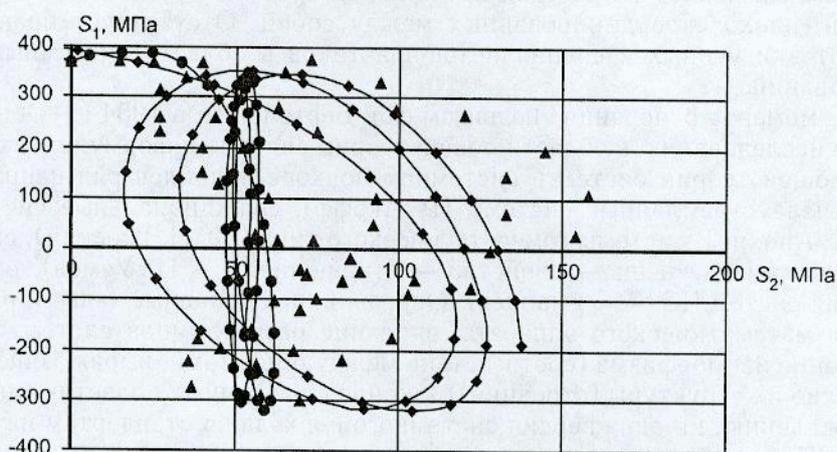


Рис. 4. Диаграмма  $S_1 - S_2$

ем гипотезы компланарности [1]. Уточнение решения (в основном по скалярным свойствам материала, связанным с вычислением компонента  $S_2$ ) происходит при расчетах, построенных на основе гипотезы малого кручения [1]. Достаточно хорошо, качественно и количественно, данные траектории по векторным и скалярным свойствам описываются при использовании общих трехчленных определяющих соотношений теории упругопластических процессов при использовании аппроксимаций определяющих функций пластичности  $M_1$ ,  $M_3$ ,  $d\sigma/dS$ , учитывающих влияние кривизны траектории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубчанинов В. Г. Математическая теория пластичности/В. Г. Зубчанинов.— Тверь:ТГТУ, 2002.— 300 с.
2. Охлопков Н. Л. Определяющие соотношения теории упругопластических процессов для трехмерных траекторий в девятиорных пространствах напряжений и деформаций/ Н. Л. Охлопков.— Тверь: ТГТУ, 2000.— 37 с.
3. Зубчанинов В. Г. Экспериментальная пластичность/В. Г. Зубчанинов, Н. Л. Охлопков, В. В. Гараников//Кн. 1. Процессы сложного деформирования.— Тверь: ТГТУ, 2003.— 171 с.

© Зубчанинов В. Г., Охлопков Н. Л., Третьяков К. И., 2007

Получено 06.03.07

УДК 691.001

**А. П. ПРОШИН**, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., **А. М. ДАНИЛОВ**, д-р техн. наук, проф., **И. А. ГАРЬКИНА**, канд. техн. наук, доц. (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

## СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ

На примере создания радиационно-защитных композитов предлагаются методологические принципы синтеза материалов на основе общих принципов системного анализа.

Системные исследования, особенно в области синтеза композиционных материалов, пока находятся на начальном этапе своего становления. Системный подход на сегодня представлен мозаикой отдельных направлений, плохо скоординированных между собой. Отсутствует практика подготовки ученых и специалистов-практиков в области системных исследований.

С момента основания Людвигом фон Берталанфи в 1954 г. «Общества по исследованию в области общей теории систем» и формулировки задач общей теории систем в системном подходе появился ряд направлений: целеустремленные системы (Р. Акофф), функциональные системы (П. К. Анохин), системы гомеостатического типа (Ю. Н. Горский), системы как триада «вещь — свойство — отношение» (А. И. Уемов), общая теория систем (Ю. А. Урманцев). Определились основные задачи: разработка математического аппарата; описание разных типов систем; установление изоморфизма (соответствие между объектами, выражающее тождество их структуры (строения)) законов в различных областях знания. К сожалению, ни одна версия системного подхода по стандартам науки XXI в. не получила развития до ранга теории. Существуют различные мнения относительно системных исследований: от восторженного до оценки системного анализа акад. Н. Н. Моисеевым как «несостоявшейся» науки. Что касается приложений, как отмечается рядом авторов, «есть только отдельные опыты применения системной методологии, причем и они отличаются сравнительно небольшим масштабом решаемых задач; ...системный подход к настоящему времени реализует себя скорее как искусство, чем как наука, технология и учебная дисциплина» [1].

Налицо потребность и демонстрация возможностей разработок в области синтеза систем.

Известно, что философские проблемы отличаются от научных тем, что они являются центрами проблематизаций. Наблюдающееся в последнее время быстрое отделение друг от друга философии и математики привело к неразрешимости ряда теоретических и прикладных задач синтеза систем.

Одно из наиболее перспективных направлений системных исследований связано с решением в той или иной форме проблемы «черного ящика». А именно, сначала производится замена физических процессов в некотором блоке-преобразователе множеством передаточных функций, согласующих параметры входов и выходов системы: выявляются *типичные* физические процессы, позволяющие онтологизировать (от греч. *ontos* — сущее, *logos* — слово, учение, закон; сущность может быть понята только в абстракции) передаточные функции и придавать физическое соответствие переменным в уравнении. Для замены «черного ящика» «серым» используются *модели гомеостатического типа*, обладаю-

щие определенной универсальностью и возможностью физического толкования процессов.

Одним из междисциплинарных подходов служит *синергетика* (синергетический эффект — действие превышает действие, оказываемое каждым компонентом в отдельности) с анализом бифуркаций (точки пространства, в которых происходит выбор и где сложную систему можно направить по различным траекториям). Оценка сложности системы может производиться по-разному. В частности, по Колмогорову [2] сложность объекта определяется как минимальный размер количества информации, задающей этот объект. Принятыми принципиальными гипотезами о механизмах функционирования объекта определяется адекватность модели. В последнее время все чаще при моделировании используется *метод погружения*, в котором используются модели простых вспомогательных систем, мажорирующих или минорирующих поведение изучаемой системы.

Классическая наука добилась значительных успехов за счет существенных ограничений, в рамках которых невозможен востребованный жизнью синтез систем. Основной проблемой синтеза при системном подходе является усиливающаяся фрагментация знания. Желательно иметь аппарат синтеза, основанный на интеграции междисциплинарных категорий с развитием до уровня математической теории, в основе которой лежит идеальный объект, заданный в системе аксиом и способный выйти на уровень приложений в разных областях.

В качестве иллюстрации рассмотрим результаты комплексных исследований с позиций системного анализа научных и технических проблем, связанных с разработкой строительных материалов специального назначения. Исследования были начаты в научной школе безвременно ушедшего из жизни чл.-кор. РААСН А. П. Прошина и направлены на разработку теоретических основ получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств, а также базы компьютерного проектирования и управления технологией их производства. В исследования входят математическое моделирование, вычислительный эксперимент, разработка методов и алгоритмов структурно-параметрического синтеза и идентификации строительных материалов как сложных систем. Актуальность проводимых исследований была продиктована необходимостью синтеза строительных материалов для обеспечения безопасности деятельности объектов ядерной энергетики, химически опасных производств и др.

Основная научно-техническая задача, связанная с разработкой таких материалов, — установление взаимосвязи состава, технологии, структуры и свойств материала. Наличие в композиционных материалах границы раздела фаз определяет интенсивность процессов формирования структуры (выделяет такие материалы из механических смесей компонентов). Изучение процессов структурообразования материала, разработка способов и поиск компонентов для повышения его качества, а также уточнение существующих и введение новых характеристик материала позволяет совершенствовать методы проектирования и прогнозирование влияния рецептуры на свойства композита.

При исследованиях композиционный материал рассматривался как сложная система [3, 4], состоящая из элементов различного уровня детализации: от атомного до отдельного процесса. Система представлялась как совокупность взаимодействующих элементов. Так как сущность системы нельзя понять, рассматривая только свойства элементов, то изучались и способ взаимодействия элементов, и взаимодействие элементов и системы с окружающей средой. В частности, анализ отдельных стадий процесса без выявления взаимосвязи между ними и с окружающей средой не дает воз-

возможности судить обо всем технологическом процессе. Так, массоперенос вещества осуществляется на нескольких технологических переделах: при химической реакции взаимодействия вязущего с активатором; при перемешивании компонентов; при тепловой обработке и др.

На основе анализа технологического процесса по созданию радиационно-защитных композиционных материалов выделялись несколько уровней иерархии, между которыми существуют отношения подчиненности. В основе создания композиционных материалов специального назначения лежит иерархическая структура критериев качества. В соответствии с ней строилась иерархическая структура композиционного материала [5, 6]. Учитывались элементарные процессы технологии: химические, массообменные, тепловые, механические и др. При анализе отдельных процессов в качестве элементов иерархической структуры рассматривались и явления, в совокупности определяющие целевую функцию процесса (химические превращения, теплообмен и т.д.). На основе общих принципов системного анализа производилась *декомпозиция* системы, устанавливались связи между подсистемами. По существу разработка методологических принципов синтеза композиционных материалов напрямую связана с разработкой указанных иерархических структур. Синтез композиционных материалов специального назначения естественным образом был сведен к последовательному решению ряда задач:

- анализ и моделирование кинетических процессов формирования основных физико-механических характеристик материала (структурная и параметрическая идентификация) [7];

- формализация оценки и оптимизация качества кинетических процессов по каждому из свойств в отдельности на основе специально разработанных функционалов качества [8];

- определение приоритетов, ранжирование критериев качества и многокритериальный синтез композиционных материалов [9] с применением различных алгоритмов векторной оптимизации (сведение к лексикографической задаче, метод последовательных уступок, скаляризация; построение множеств Парето [10]; сведение к задаче нелинейного программирования и др.);

- определение рецептурно-технологических параметров.

Частные методики и алгоритмы решения этих задач подробно обсуждались в указанных публикациях авторов.

Укажем и другой подход к синтезу: на основе *определения интегративных свойств систем с использованием автономных исследований отдельных подсистем*. Здесь композиционные материалы рассматриваются как большие сложные системы, сформированные по *модульному принципу*. Декомпозиция системы на отдельные подсистемы осуществляется с учетом определенной степени их автономности. Каждый элемент иерархической структуры системы, находящийся на определенном уровне, представляется как модуль. С ростом уровня иерархии (понижение номера уровня) происходит объединение модулей в более крупные. Объединение отдельных подсистем в единую систему производится с учетом межсистемных связей. Каждый элемент в иерархической структуре качества системы автономно (без учета *всех* межсистемных связей) определяет качество отдельной системы. Результаты автономных исследований модулей далее используются для определения интегративных свойств в основном лишь на качественном уровне. Естественно, интегративные свойства системы определяются связями между модулями, уровнями и на каждом из уровней. Устранение межсистемных связей при автономных исследованиях отдельных подсистем (для синтеза системы в

целом) можно обеспечить введением *настраиваемых эталонных моделей с одновременной децентрализацией модулей по входам*.

Определение класса задач и условий для использования эталонных моделей, важных для переноса результатов автономных исследований на систему в целом, естественно, связано с полнотой понимания процессов формирования структуры и свойств системы. Так, при определении некоторых свойств материала в зависимости от гранулометрического состава можно использовать ингредиенты из других материалов, но с тем же гранулометрическим составом, что и в синтезируемом материале. Здесь необходимо лишь обеспечить аналогичные, по возможности точные межсистемные связи (например, смачиваемость) или при переносе результатов автономных исследований смачиваемости на формирование структуры и свойств материала необходимо знать параметры смачиваемости входящих компонентов в стесненных условиях. Принципиально это можно обеспечить с использованием настраиваемой эталонной модели, предусматривающей регулирование давления между компонентами. Настройку можно обеспечить с использованием экспериментальных данных на образцах. Идея использования эталонных моделей с децентрализацией модулей по входам не нова (использовалась в авиации и космонавтике).

Заметим, традиционно используемые в строительном материаловедении данные о кинетических процессах формирования структуры и физико-механических характеристик материала по существу являются автономными исследованиями отдельных сепаратных модулей. При этом требуемые параметры кинетических процессов определяются с учетом межсистемных связей. Таким образом, неявно присутствуют упомянутые эталонные модели, предусматривающие одновременную децентрализацию по входам.

Результаты исследований являются примером реализации междисциплинарных исследований с использованием системного подхода и могут служить основой создания современных технологий для получения материалов специального назначения с заданными свойствами. Они прошли неоднократную апробацию. В частности, на конкурсах научных работ на Международных форумах по вопросам науки, техники и образования они дважды стали лауреатами премий «Золотой диплом» в номинациях: «Прогрессивные промышленные технологии и материалы»; «Экология и безопасность окружающей среды» (Москва, 2002, 2005 гг.). Эффективность и перспективность использования системного подхода при синтезе материалов подтвердилась при создании уникальных сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации, получивших международное признание (г. Лейпциг, Лондон, Астана и др.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сизиков В. П. Кризис системной методологии: с позиций синтеза систем / В. П. Сизиков, В. И. Разумов // Тр. V Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'06. — М.: Институт проблем управления РАН, 2006. — С. 1818–1860. [www.sicpro.org](http://www.sicpro.org). ISBN 5-201-14984-7.
2. Колмогоров А. Н. Проблемы передачи информации / А. Н. Колмогоров. — 1965. — Т. 1. — Вып. 1. — С. 3–11.
3. Баженов Ю. М. Системный подход к разработке и управлению качеством строительных материалов / Ю. М. Баженов, А. М. Данилов, И. А. Гарькина и др.: Под ред. Акад. РААСН Ю. М. Баженова. — М.: Палеотип, 2006. — 186 с.
4. Гарькина И. А. Строительные материалы как системы / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев // Строительные материалы. — 2006. — № 7. — С. 55–58.
5. Прошин А. П. Синтез строительных материалов со специальными свойствами на основе системного подхода / А. П. Прошин, А. М. Данилов, Е. В. Королев и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 7. — С. 43–47.

6. Прошин А. П. Оптимизация свойств защитно-декоративных покрытий на основе методов системного анализа/А. П. Прошин, А. М. Данилов, В. И. Логанина и др.//Изв. вузов. Строительство.— 2004.— № 12.— С. 17–23.
7. Гарькина И. А. Модели процессов в гомогенных и дисперсных системах/И. А. Гарькина, А. М. Данилов, А. П. Прошин//Изв. вузов. Строительство.— 1999.— № 10.— С. 28–31.
8. Еремкин А. И. Промышленные и аэрокосмические приложения системных методологий, идентификации систем и теории управления/А. И. Еремкин, А. П. Прошин, А. М. Данилов и др.//Наука и технологии. Избранные тр.— М.: РАН.— 2005.— С. 556–567.
9. Гарькина И. А. Преодоление неопределенностей целей в задачах многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации/И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев и др.//Строительные материалы.— 2006.— № 8.— С. 23–26.
10. Прошин А. П. Принцип Парето в управлении качеством материалов/А. П. Прошин, А. М. Данилов, И. А. Гарькина и др.//Изв. вузов. Строительство.— 2002.— № 11.— С. 25–29.

© Прошин А. П., Данилов А. М., Гарькина И. А., 2007

Получено 03.04.07

УДК 691:658.567

**А. М. ГРИДЧИН, В. С. СЕВОСТЬЯНОВ, В. С. ЛЕСОВИК**, доктора техн. наук, профессора, **С. Н. ГЛАГОЛЕВ**, канд. экон. наук, проф., **М. В. СЕВОСТЬЯНОВ**, канд. техн. наук, **И. М. ФУНИКОВ, А. В. УРАЛЬСКИЙ**, аспиранты (Белгородский государственный технологический университет)

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРИЗОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Представлены технологические комплексы для производства поризованных заполнителей из техногенных материалов с использованием агрегата для термовлажностной обработки материалов, приведены аналитические выражения для определения энергосиловых параметров данного агрегата.

Использование отходов в качестве вторичного сырья позволяет экономить первичное сырье и материалы. Например, использование одной тонны макулатуры экономит 3,5 м<sup>3</sup> древесины; вторичного полимерного сырья — 0,7 т первичного полимерного сырья; изношенных шин — 0,33 т каучука синтетического; вторичного текстильного сырья — 0,7 т натуральных и синтетических волокон. Поэтому проблема комплексного использования техногенных материалов весьма актуальна [1]. Особое значение это имеет для такой крупномасштабной отрасли производства, как промышленность строительных материалов и изделий, с ее 22-мя подотраслями.

В БГТУ разработан технологический комплекс для изготовления поризованных заполнителей (рис. 1), который позволяет перерабатывать техногенные материалы с добавлением вяжущего, химических добавок, воды и пены в экструдированные гранулы с последующей их сушкой.

Технологический комплекс обеспечивает реализацию следующих процессов:

А — складирование, дозирование и транспортирование вяжущих материалов;

В — гомогенизация композиционной смеси;

С — получение пеномассы в гидродинамическом активаторе, увлажнение и смешение композиционной смеси;

Д — экструдирование смеси в пресс-валковом экструдере;

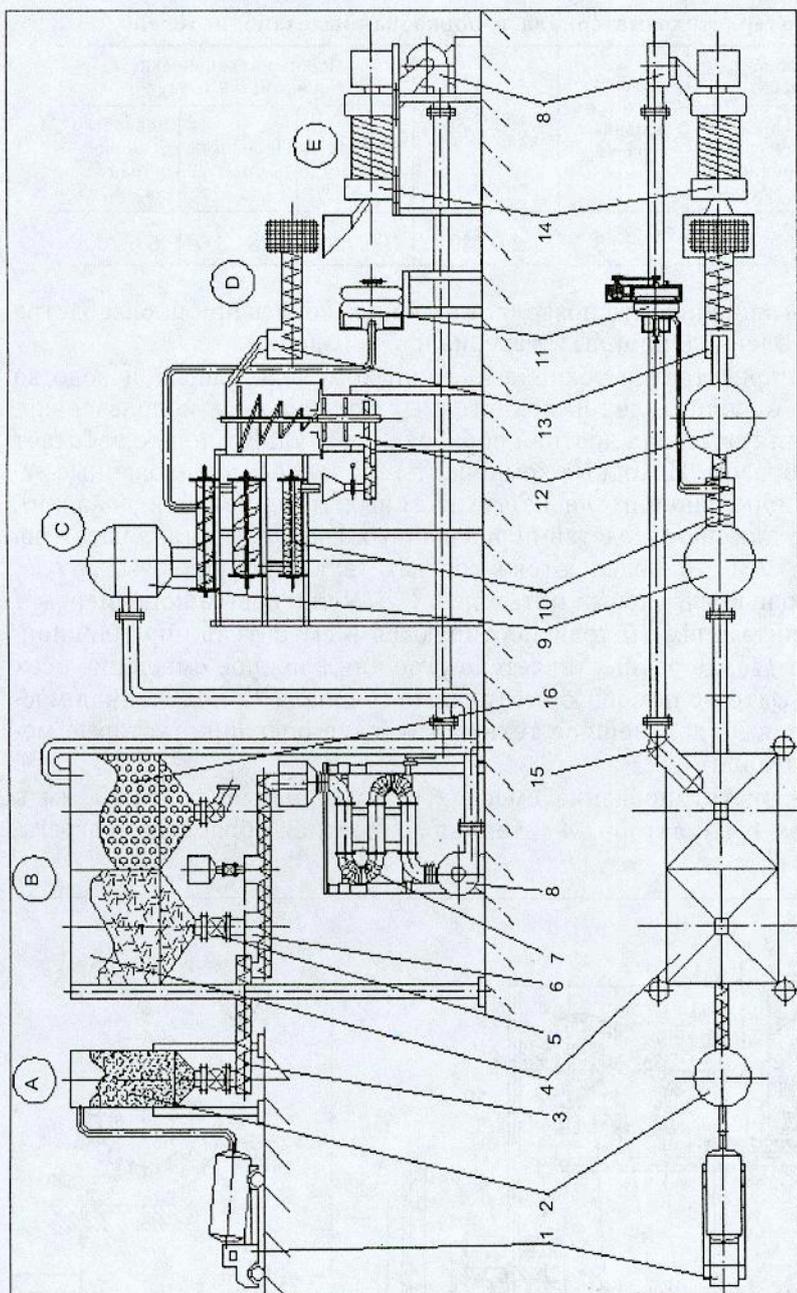


Рис. 1. Технологический комплекс для производства поризованных заполнителей с использованием техногенных материалов

1 — автотранспорт; 2 — бункер вяжущего; 3 — конвейер шнековый; 4 — силос техногенных компонентов и фиброволокни; 5 — питатель ячейковый; 6 — питатель шнековый; 7 — центробежный помольно-смесительный агрегат; 8 — вентилятор; 9 — бункер приемный; 10 — смеситель циркуляционного действия; 11 — гидродинамический активатор; 12 — агрегат для термовлажностной обработки пеномассы; 13 — пресс-валковый гранулятор; 14 — барабанно-винтовая СВЧ-сушилка; 15 — трубопровод; 16 — бункер готовых гранул

Е — СВЧ-сушка поризованных гранул в барабанно-винтовом сушильном агрегате.

Процесс изготовления поризованного заполнителя осуществляется следующим образом: приготовление пеномассы из вяжущих материалов, наполнителей, химических добавок, воды, пены; термовлажностная обработка пеномассы в течение 0,1...8 ч до набора сырцової прочности 50...500 г/см<sup>2</sup>; экструдирование смеси в гранулы размером от 5 до 15 мм с последующей их сушкой в барабанно-винтовом сушильном агрегате до влажности 2...30% [2, 3].

Характеристика материала и поризованных заполнителей, изготовленных вышеуказанным способом, представлена в таблице.

Таким образом, технологический комплекс позволяет получать гранулы низкой насыпной плотности, достаточно высокой прочности, невы-

### Характеристика материала и поризованных заполнителей

Выдержка пены		Длина экструдированных гранул, мм	Подсушивание до влажности, %	Физико-механические показатели гранул		
Время, ч	Пластическая прочность, г/см <sup>2</sup>			Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Водопоглощение гранул за 4 ч, %
0,1...8,0	50...500	5...15	2,0...30	100...200	0,6...3,0	5,6...6,5

сокого водопоглощения, что позволяет их использовать при производстве различных теплоизоляционных материалов и изделий.

На рис. 2 представлен технологический комплекс для производства поризованных заполнителей из техногенных материалов с использованием агрегата для термовлажностной обработки гранул. Комплекс работает следующим образом. Исходные компоненты (вяжущее, поризованные заполнители, фиброаппенителители из техногенных материалов и добавки), используемые для производства поризованных гранул, доставляются автотранспортом 1 и распределяются в соответствующие бункера 2, 5, 7, 8. Откуда с помощью ячейковых питателей 3, 6, 9 шнековым конвейером 4 и шнековым питателем 10 транспортируются в смеситель циркуляционного действия 11, где осуществляется сухое или влажное смешение всех компонентов. Затем с помощью вертикального шнека 12 полученная масса направляется на дальнейшие технологические операции, которые могут быть следующими:

(А-С) — экструдирование смеси в гранулы размером 5...15 мм в пресс-валковом грануляторе 14 и термовлажностная обработка в агрегате 16;

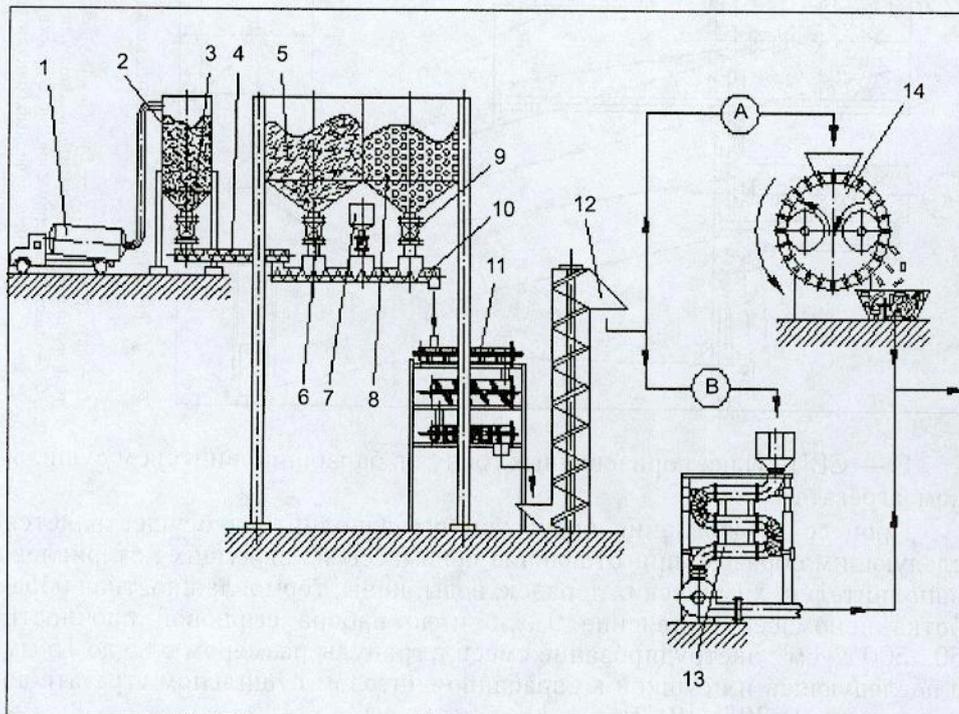


Рис. 2. Технологический комплекс для производства поризованных заполнителей из техногенных материалов: 1 — автотранспорт; 2 — бункер вяжущего; 3, 6, 9 — питатели ячейковые; 4 — конвейер шнековый; 5 — бункер поризованных заполнителей; 6, 7, 8 — бункеры добавок; 9 — питатель ячейковый; 10 — питатель шнековый; 11 — смеситель циркуляционного действия; 12 — вертикальный шнек; 13 — агрегат для термовлажностной обработки гранул; 14 — пресс-валковый гранулятор; 16 — агрегат для термовлажностной обработки мате-

(А-Д) — экструдирование смеси в гранулы размером 5...15 мм в пресс-валковом грануляторе 14 с их сушкой в барабанно-винтовом (СВЧ) сушильном агрегате 15;

(В-С) — последующее сухое смешение и микрогрануляция полученной смеси в центробежном помольно-смесительном агрегате 13 и термовлажностная обработка полученных микрогранул в агрегате 16;

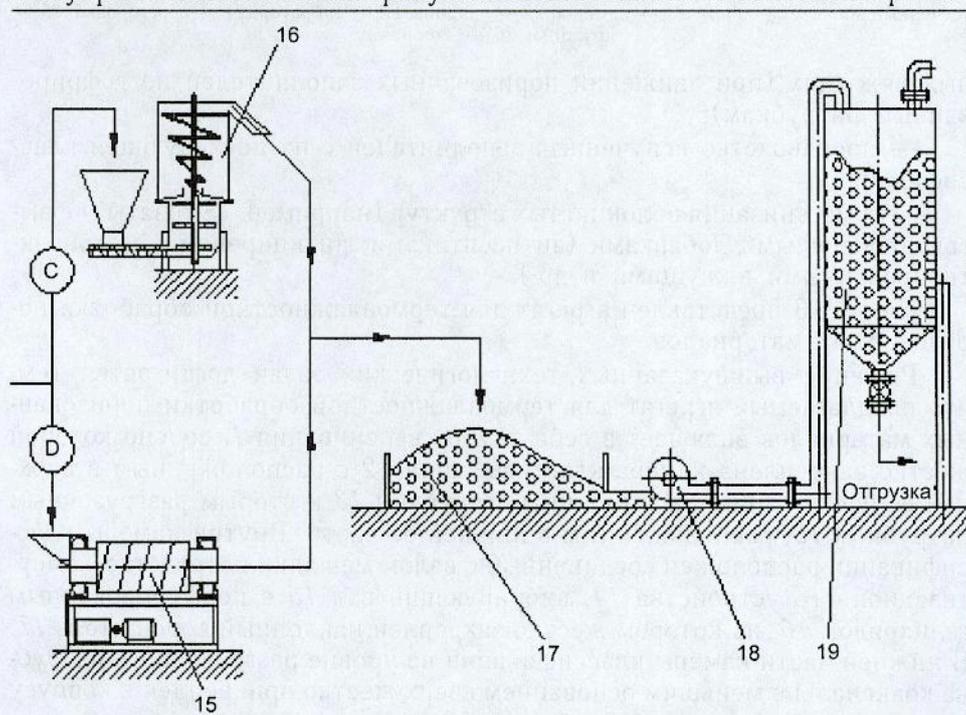
(В-Д) — последующее сухое смешение и микрогрануляция полученной смеси в центробежном помольно-смесительном агрегате 13 с их подсушиванием в барабанно-винтовом (СВЧ) сушильном агрегате 15.

После любой из приведенной выше технологической операции полученные гранулы отгружаются на склад временной выдержки гранул 17, где они набирают транспортную прочность. После набора прочности поризованные гранулы закачиваются в бункер 19 с помощью вентилятора 18. Готовые гранулы отгружаются потребителю навалом или могут быть направлены на упаковку.

В разработанных нами технологических комплексах основополагающими процессами являются процессы формирования гомогенных композиционных смесей в поризованные гранулы и их термовлажностной обработки. Процесс гранулирования композиционной смеси реализуется в пресс-валковом экструдере.

Для термовлажностной обработки сформованных материалов нами разработан агрегат новой конструкции (рис. 3). Конструкция агрегата позволяет выполнять различные технологические функции:

- смешение увлажненной или термообработанной смеси;
- внутренняя или внешняя классификация сформованных материалов, гидрофобизация их поверхности (во внутренней камере) или создание упрочненной оболочки гранул с использованием механоактивирован-



ных материалов с использованием агрегата для термовлажностной обработки материалов  
 5 — бункер техногенных фиброполнителей; 7 — бункер добавок; 8 — бункер поризованных заполнителей; 13 — центробежный помольно-смесительный агрегат; 14 — пресс-валковый гранулятор; 15 — агрегат; 17 — склад временной выдержки; 18 — вентилятор; 19 — бункер поризованных заполнителей

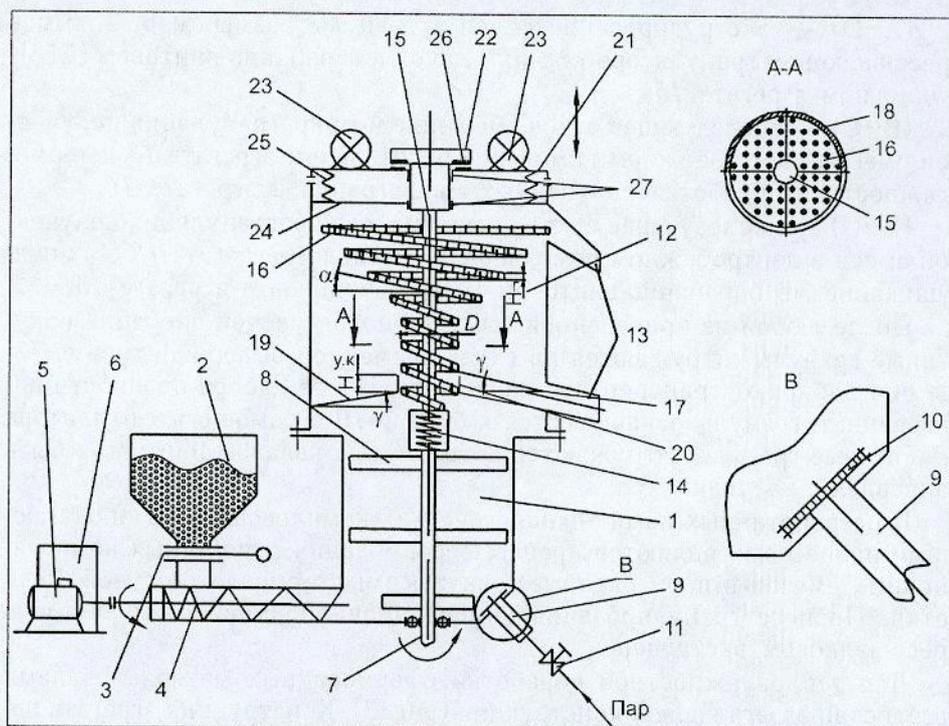


Рис. 3. Схема агрегата для термовлажностной обработки поризованных материалов  
 1 — камера вспенивания; 2 — бункер; 3 — шиберное устройство; 4 — шнековый питатель; 5 — электродвигатель; 6 — частотный преобразователь частоты переменного тока; 7 — вал мешалки; 8 — лопасти; 9 — патрубок подачи пара; 10 — фильтрующий элемент; 11 — запорное устройство; 12 — камера классификации; 13 — разгрузочный патрубок; 14 — амортизационное устройство; 15 — вибрирующий вал; 16 — перфорированный геликоид; 17 — ворошитель; 18 — бортовая пластина; 19 — усеченный конус; 20 — борт; 21 — крышка; 22 — ударник; 23 — вибратор; 24 — перегородка; 25 — пружина; 26 — отбойник

ных вяжущих (при движении поризованных заполнителей по гофрированным патрубкам);

— производство вспученных заполнителей с их последующей классификацией;

— гомогенизация волокнистых структур (например, «Эковаты») с высокодисперсными добавками (антисептиками, антипиренами, механоактивированными вяжущими и др.).

На рис. 3 представлен агрегат для термовлажностной обработки поризованных материалов.

Решение вышеуказанных технологических задач достигается тем, что предлагаемый агрегат для термовлажностной обработки поризованных материалов включает в себя камеру вспенивания 1, соосно которой жестко закреплена камера классификации 12 с расположенным в верхней ее части одним разгрузочным патрубком 13 и вторым разгрузочным патрубком 13, расположенным в нижней ее части. Внутри камеры классификации расположен соединенный с валом мешалки посредством амортизационного устройства 14, вибрирующий вал 15 с перфорированным геликоидом 16, на котором жестко закреплен наклонный ворошитель 17. В нижней части камеры классификации на уровне разгрузочного патрубка коаксиально меньшим основанием вверх жестко прикреплен к корпусу камеры усеченный конус 19 с бортом 20 по меньшему его основанию, выступающим вверх, и с углом наклона образующей, равным углу наклона ворошителя.

Данное техническое решение выполнено на уровне изобретения и защищено патентом [4].

Проведенные нами аналитические исследования подтверждены результатами экспериментов. Суммарная мощность привода агрегата равна сумме мощностей, затрачиваемых на процессы подачи материала в рабочую камеру, термовлажностной обработки материала (перемешивания), транспортирования и классификацию, а также на процесс виброобработки:

$$N = \frac{\pi D_1^2}{4\eta_1} S_1 n_1 \rho_1 k_3 g L k + \frac{Q_m g l k_c}{\eta_2} + \frac{b k i \pi n \sin \alpha (R^2 - r^2)}{\eta_2} + \frac{k_r \rho S h g H k_c}{t_m} + \frac{4 m \pi^2 r^2 n^3}{\eta_3}, \quad (1)$$

где  $D_1$  — диаметр шнека, м;

$S_1$  — шаг шнека, м;

$n_1$  — частота вращения шнека, об./с;

$\rho_1$  — плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$k_3$  — коэффициент заполнения,  $k_3 = 0,8 - 0,9$ ;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$L$  — длина шнекового питателя, м;

$k_c$  — коэффициент сопротивления движению,  $k = 1,5 - 2$ ;

$\eta_1$  — КПД привода механизма подачи материала;

$Q_m$  — производительность камеры вспенивания;

$l$  — высота камеры вспенивания;

$b$  — ширина лопасти, м;

$k$  — удельное сопротивление разрезанию, Н/м<sup>2</sup>;

$i$  — количество лопастей;

$n$  — частота вращения вала, об./с;

$\alpha$  — угол наклона лопасти к горизонту, град.;

$R$  — радиус окружности, описываемый концом лопасти, м;

$r$  — расстояние от центра вращения до начала лопасти, м;

$\eta_2$  — КПД привода механизма термовлажностной обработки;  $H$  — высота транспортирования геликоидальной поверхности, м;

$k_r$  — коэффициент, учитывающий форму геликоидальной поверхности;

$h$  — средняя высота слоя материала на перфорированной геликоидальной поверхности;

$\rho$  — плотность термообработанной массы, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  — площадь геликоидальной поверхности, м<sup>2</sup>;

$r$  — эксцентриситет, м;

$m$  — масса вибротранспортируемого слоя, кг;

$\eta_3$  — КПД привода вибраторов.

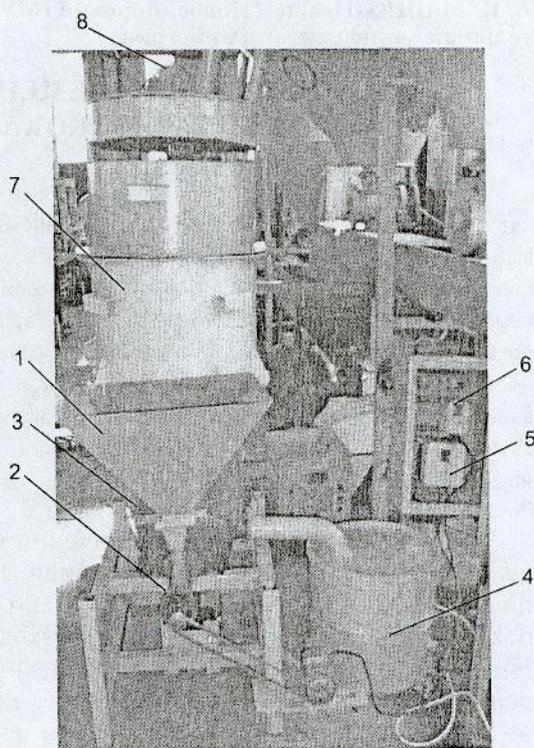


Рис. 4. Агрегат для термовлажностной обработки поризованных материалов

1 — приемный бункер; 2 — шнековый питатель; 3 — камера вспенивания; 4 — парогенератор; 5 — преобразователь частоты вращения вала вспенивателя; 6 — преобразователь частоты вращения шнекового питателя; 7 — камера классификации; 8 — вибратор

Выполненные научно-технические разработки по созданию технологических комплексов и оборудования могут быть использованы для производства поризованных заполнителей из различных техногенных материалов (рис. 4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тахтуев Б. Г. Сотрудничество для решения проблемы отходов/Б. Г. Тахтуев//Сб. докл. II Междунар. конф.— Харьков, 2005.— 224 с.
2. Пат. № 2172305/А. А. Ахундов; Ю. В. Гудков и др.: Оpubл. 20.08.2001 г.
3. Пат. № 4624711 (США) МКИ С 04 В 14/00 НКИ 106/308 S.: Заявл. 7.11.84, № 669284; Оpubл. 25.11.86г.
4. Парогранулятор с внутренней классификацией поризованных гранул/А. М. Гридчин, В. С. Севостьянов, И. М. Фуников и др.— Решение о выдаче пат. на изобрет. по заявке № 2005124066/12 от 28.07.2005.
5. Оборудование предприятий по переработке пластмасс/Под общ. ред. В. К. Завгороднего.— Л.: Химия, 1972.— 464с.
6. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс/Г. Шенкель.— Л.: Госхимиздат, 1962.— 161с.

© Гридчин А. М., Севостьянов В. С., Лесовик В. С., Глаголев С. Н., Севостьянов М. В., Фуников И. М., Уральский А. В., 2007

Получено 06.04.07

УДК 691.327

Г. И. БЕРДОВ, Засл. деят. науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф.,  
А. Н. МАШКИН, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

### АКТИВИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БЕТОНА

Исследован новый метод активирования цементных вяжущих, позволяющий получать бетоны с улучшенными характеристиками. Выявлены оптимальные параметры активации цементной суспензии в гидродинамическом диспергаторе: 50 с обработки при концентрации суспензии 60 мас. %. Обнаружено, что прочность бетона на активированном цементе при оптимальных параметрах после 7 суток нормального твердения достигает марочного значения для бетона того же состава на неактивированном вяжущем. Тепловлажностная обработка позволяет получить бетон, превосходящий по прочности неактивированный более чем в два раза. После 28 суток нормального твердения прочность бетона на активированном вяжущем превышает прочность бетона на неактивированном вяжущем на 45%.

Основными способами увеличения прочности бетона являются введение различных добавок, активация вяжущего или совмещение этих процессов. В роли вяжущего выступают обычно цемент, смесь цемента с отходами производства или только отходы производства, прошедшие специальную обработку. Активирование вяжущих материалов непосредственно перед или в процессе приготовления бетонной смеси применяется во многих технологических циклах, и используемые методы зачастую ведут к значительным затратам энергии или увеличению времени производства изделий.

Механохимическая активация вяжущего может осуществляться «сухим» или «мокрым» способом. Суть активации заключается в дополнительном измельчении частиц вяжущего и изменении их поверхностной энергии для повышения реакционной способности.

При сухом способе активирования цемент в сухом виде подвергается помолу в различных типах мельниц. При этом достигается дополнительное измельчение и активация поверхности частиц цементного вяжущего, что приводит к повышению его активности. К недостаткам указанного способа можно отнести высокую длительность обработки, энергоемкость оборудования и малую его производительность.

Реализация мокрого способа активации цемента позволяет значительно снизить расход энергии на измельчение и активацию частиц, но она сопряжена с рядом сложностей, возникающих в результате гидратации цемента в процессе активирования. Таким образом, длительность активирования ограничена сроками схватывания цемента, а его эффективность неразрывно связана с физико-химическими превращениями, происходящими при гидратации клинкерных минералов одновременно с активированием.

Исследования в этой области должны быть направлены на разработку методов, позволяющих при непродолжительном интенсивном воздействии получать как необходимую гранулометрию продукта, так и равномерное распределение дисперсной фазы и дисперсионной среды в суспензии. Один из путей реализации этих положений — получение цементной суспензии в смесительном устройстве, обеспечивающем кавитационный режим обработки [1].

Кавитация — явление образования в жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью, так называемых кавитационных пузырьков, или каверн. Гидродинамическая кавитация возникает в тех участках потока, где давление понижается до некоторого критического значения. Присутствующие в жидкости пузырьки газа или пара, двигаясь с потоком жидкости и попадая в область давления меньше критического, приобретают способность к росту. После перехода в зону повышенного давления рост прекращается, и пузырьки начинают уменьшаться и схлопываться, выделяя большое количество энергии в виде направленного импульса [2–4]. Природа и механизм сил, возникающих при схлопывании кавитационных каверн, на современном этапе является дискуссионным вопросом [5–8].

Принцип работы кавитационных установок заключается в создании в жидкой среде, проходящей через рабочие органы установки, эффектов гидродинамической и акустической кавитации. Это достигается за счет внешнего ультразвукового воздействия или путем постановки и устранения микропреград на пути движущейся жидкости в динамическом режиме, либо созданием высокого напора жидкости около большой преграды неправильной остроугольной формы [9].

Интенсивное воздействие на жидкость микроударов, кавитационных разрывов, растяжений и ультразвуковой вибрации приводит к ее нагреву, измельчению частиц дисперсной фазы и образованию устойчивых эмульсий и суспензий. При этом, поскольку все процессы происходят за пределами рабочих органов аппарата, их износ в основном определяется твердостью обрабатываемого материала.

Эксперименты по активированию цементных вяжущих в настоящем исследовании проводились на гидродинамическом диспергаторе, обеспечивающем кавитационное воздействие на обрабатываемый материал. Мощность двигателя установки 4,5 кВт, производительность по воде  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , рабочий объем 1,7 л.

После активирования цементной суспензии на ее основе изготавливались образцы мелкозернистого бетона. Исходными материалами служили рядовой портландцемент ПЦ 400 Д20 производства искимитского цементного завода (г. Искитим, Новосибирская область) и песок криводановского карьера (с. Криводановка, Новосибирская область) с модулем

крупности 1,31 и содержанием  $\text{SiO}_2$  88,4 мас. %. Химический состав цемента, мас. %: 20,62  $\text{SiO}_2$ ; 6,94  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5,44  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 64,27  $\text{CaO}$ ; 1,56  $\text{MgO}$ ; 0,37  $\text{SO}_3$ ; 0,2 п.п. Минеральный состав цемента: 53,26  $\text{C}_3\text{S}$ ; 20,0  $\text{C}_2\text{S}$ ; 5,9  $\text{C}_3\text{A}$ ; 16,53  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Состав мелкозернистого бетона: Ц/П = 1/3; В/Ц = 0,55. Подвижность бетонной смеси оценивалась по расплыву стандартного конуса на встряхивающем столике и составила 185 мм.

В качестве регулируемых параметров были выбраны время активации и массовая концентрация цемента в суспензии. Этот выбор обусловлен технологической значимостью

Время обработки, с	Концентрация цемента в воде, %					
	20	35	50	60	65	70
20	1	2	3	4	5	6
30	7	8	9	10	11	12
40	13	14	15	16	17	18
60	19	20	21	22	23	24

этих параметров и простой их регулирования. Значения изменяемых параметров и номера экспериментов приведены в таблице.

Испытания образцов мелкозернистого бетона производились на 3, 7, 14 и

28 суток нормального твердения, а также после пропаривания в лабораторной пропарочной камере в течение 12 ч при изотермической выдержке 8 ч.

Зависимости, полученные при испытаниях образцов, и аппроксимации результатов при помощи программного пакета Mathcad® после 7 и 14 суток нормального твердения, а также после пропаривания имеют аналогичный вид (рис. 1, 2). Динамика набора прочности бетона на активированном вяжущем неравномерна и значительно отличается от логарифмической зависимости (рис. 3).



Рис. 1. Прочность образцов после 3 сут нормального твердения, МПа



Рис. 2. Прочность образцов после 28 сут нормального твердения, МПа

Оптимальными параметрами активации являются время обработки 50 с и концентрация суспензии 60 мас. %.

Снижение эффективности активирования при увеличении концентрации суспензии сверх 60 мас. % объясняется резким повышением вязкости суспензии (концентрация 70 мас. % соответствует приблизительно  $\text{В/Ц} = 0,4$ ) и затруднением создания в ней кавитационного режима при помощи оборудования малой мощности.

Прочность бетона на активированном цементе после 7 суток твердения достигает марочного значения для бетона того же состава на неактивированном вяжущем (см. рис. 3). Тепловлажностная обработка позволяет получить бетон, превосходящий по прочности неактивированный более чем в два раза (см. рис. 4). После 28 суток нормального твердения прочность бетона на активированном вяжущем превышает прочность бетона на неактивированном вяжущем на 45%.

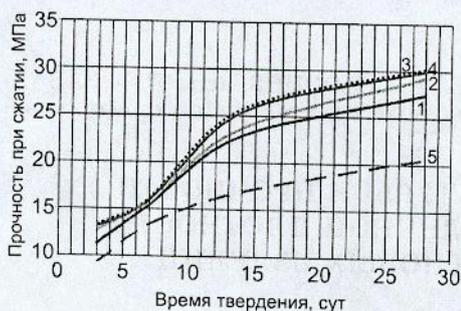


Рис. 3. Прочность образцов после различного времени твердения при оптимальной концентрации цементной суспензии  
1 — 20 с; 2 — 30 с; 3 — 40 с; 4 — 60 с;  
5 — контрольный

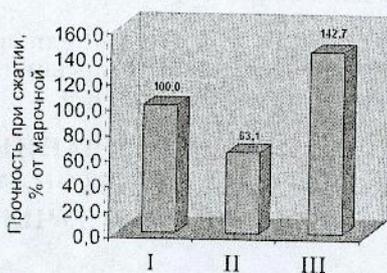


Рис. 4. Прочность бетона при пропаривании  
I — контрольный, 28 сут; II — неактивированный; III — активированный, при оптимальных параметрах

Высокая эффективность и технологичность предложенного метода активации делает его применение перспективным не только в технологии бетонных и железобетонных изделий, но и в других отраслях строительной индустрии [10, 11].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердов Г. И. Высокопрочные бетоны на активированных цементных вяжущих / Г. И. Бердов, А. Н. Машкин // Тр. 13 Междунар. семинара Азиат.-тихоокеан. акад. матер. «Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века». — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. — Т. 2. — С. 227–229.
2. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей / М. Корнфельд. — М., 1951. — 324 с.
3. Буйвол Б. Н. Тонкие каверны в течениях с возмущениями / Б. Н. Буйвол. — Киев: Наукова думка, 1980. — 296 с.
4. Биркгоф Т. Струи, следы и каверны: пер. с англ. / Т. Биркгоф, Э. Сарантонелло. — М.: Мир, 1964. — 466 с.
5. Thompson L. H. Sonochemistry: Science and engineering [Сонохимия. Наука и технология] / L. H. Thompson, L. K. Doraiswamy // Ind. and Eng. Chem. Res. — 1999. — Vol. 38. — № 4. — Р. 1215–1249.
6. Yount D. E. On the elastic properties of the interfaces that stabilize gas cavitation nuclei [Об упругих свойствах межфазных поверхностей, стабилизирующих газовые зародыши при кавитации] / D. E. Yount // J. Colloid and Interface Sci. — 1997. — Vol. 193. — № 1. — Р. 50–59.
7. Маргулис И. М. Динамика одиночного кавитационного пузырька / И. М. Маргулис, М. А. Маргулис // Журн. физ. хим. — 2000. — Т. 74. — № 3. — С. 566–574.
8. Зубрилов С. П. Сопоставление различных механизмов "кавитации" / Зубрилов С. П. // Журн. физ. хим. — 2000. — Т. 74. — № 9. — С. 1700–1701.
9. Ламекин Н. С. Кавитация: теория и применение / Н. С. Ламекин // Гос. нац. рус. академия. — М.: Русаки, 2000. — 246 с.
10. Зибницкая Н. Е. Перспективы активирования цементных вяжущих в технологии бетонов / Н. Е. Зибницкая, Д. И. Живетьев, А. Н. Машкин // Тр. НГАСУ. — 2005. — Т. 8. — № 2 (32). — С. 87–91.
11. Машкин Н. А. Унифицированный подход к созданию ресурсосберегающих технологий производства искусственных каменных материалов / Н. А. Машкин, В. С. Баев, И. И. Петров и др. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — М.: МГСУ, 2007. — № 3. — С. 14–16.
12. Машкин Н. А. Способ активации цементного вяжущего / Н. А. Машкин, Н. Е. Зибницкая, В. С. Баев и др.: Заявка в Роспатент. — Рег. № 2006116862 от 16.05.2006 г.

© Бердов Г. И., Машкин А. Н., 2007

Получено 27.03.07

**В. Ф. ЗАВАДСКИЙ**, д-р техн. наук, проф., **Е. С. КОРНЕВ**, асп., **Л. В. ЗАВАДСКАЯ**, студ. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ МЕЖДУ БЕТОНАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Приведены результаты определения прочности сцепления между бетонами различной плотности в структуре двухслойных стеновых изделий и их эксплуатационные свойства.

Производство новых эффективных стеновых изделий, удовлетворяющих теплоизоляционным и прочностным характеристикам, в настоящее время является актуальной задачей.

Получение однослойных высокопористых и многослойных комплексных стеновых изделий с эффективными утеплителями возможно как на технологических линиях в заводских условиях, так и при монтаже в условиях строительной площадки.

В работе [1] систематизированы современные технологические способы создания высокопористых структур строительных материалов, принципы обеспечения теплозащитных строительных систем, а также показаны представленные на российском строительном рынке варианты многослойных стеновых конструкций с эффективными утеплителями. Эти схемы предусматривают в основном создание теплозащитных стен на стадии их монтажа, но не уделяют внимания реально возможным способам производства эффективных, с точки зрения теплотехнических свойств, стеновых изделий и конструкций в период их технологического изготовления в заводских условиях.

При реконструкции отапливаемых зданий альтернативы наружному утеплению стен практически нет, а при новом строительстве альтернативой многослойным конструкциям стен могут служить однослойные и двухслойные стеновые камни, крупные блоки и панели, выполненные из различных видов бетонов или бетона одной группы, различной плотности и прочности по вертикальному сечению в период их формирования и по горизонтальному сечению изделий в проектном эксплуатационном положении.

Вопросами создания многослойных стеновых изделий по горизонтальному сечению стены (изделия) в различные годы посвящены работы Б. Н. Данилова и А. Л. Богданова [2], А. Н. Чернова и др. [3], В. Л. Курбатова [4], С. Ф. Кореньковой и В. Ю. Сухова [5], В. В. Бабкова и др. [6], А. С. Королева, Б. Я. Трофимова, Е. А. Волошина [7]. Отдельные исследования по этой проблеме выполнены В. Ф. Завадским [8].

Возможно несколько вариантов создания двухслойных стеновых изделий (тяжелый бетон + пенобетон, керамзитобетон + пенобетон, газобетон + пенобетон, крупнопористый легкий бетон + пенобетон и др.). При создании комплексных стеновых изделий важным является вопрос определения адгезионной прочности в контактной зоне конструкции и определение долговечности стеновых изделий, сформированных из бетонов различной плотности.

Нами в лаборатории испытательного центра ООО «ОмскстройЦНИЛ» проводились исследования двухслойных конструкций. Формование образцов осуществлялось по следующим вариантам. В первом случае готовилась и укладывалась в формы керамзитобетонная смесь, которая уплотнялась на вибростоле и выдерживалась в течение 4–5 ч, а затем укладывалась пенобетонная масса. Технологическая выдержка применялась для

предотвращения попадания мелких фракций керамзита (5–10 мм) из конструкционного слоя образца в теплоизоляционный слой пенобетонной массы. При этом слияние в контактной зоне композиционного материала происходило в основном за счет пенобетонной массы (рис. 1, а).

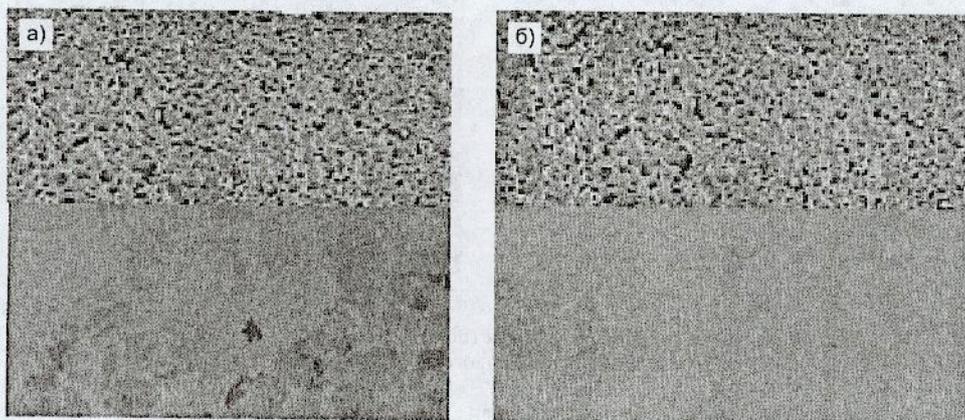


Рис. 1. Характер структуры двухслойных образцов, заформованных из слоев: а — керамзитобетон + пенобетон; б — тяжелый бетон + пенобетон

Во втором случае готовилась и укладывалась в формы тяжелобетонная смесь, которая уплотнялась на вибростоле, а затем на нее заливалась пенобетонная смесь. В данном случае технологическая выдержка первого слоя из тяжелого бетона не предусматривалась, а прочность в контактной зоне обеспечивалась за счет растворной части тяжелого бетона и пенобетона (рис. 1, б).

В третьем варианте формовались образцы из двух слоев ячеистых бетонов. В начале осуществлялось приготовление и формование первого слоя из пенобетонной смеси, а затем подавалась газобетонная смесь. При этом варианте формования у образцов происходит расслоение по контактной зоне, связанное, вероятно, с усадкой пенобетонной смеси и процессом вспучивания газобетонной смеси на базе пенобетона (рис. 2, а, б).

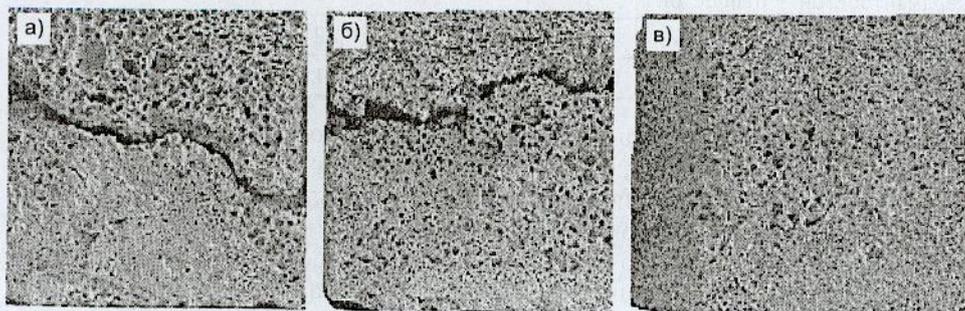


Рис. 2. Характер структуры двухслойных образцов, заформованных из слоев: а, б — пенобетон + газобетон; в — газобетон + пенобетон

Затем схема последовательности формования была изменена. Сначала заливалась в формы газобетонная, а затем пенобетонная смесь, при этом варианте происходит сцепление бетонов в контактной зоне за счет химической реакции подъема горбушки у газобетонной смеси и слияние ее с пенобетонной массой (рис. 2, в).

На рис. 3 представлен характер дифференцированной пористости газопенобетонного образца в период формования стенового элемента.

В результате эксперимента получены результаты по адгезионной прочности сцепления между слоями в бетонах различной плотности в зависимости от времени твердения образцов. Адгезионная прочность

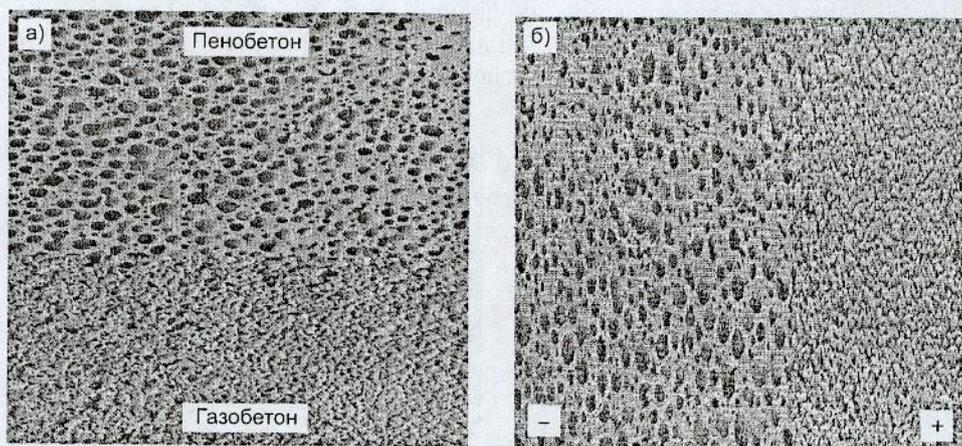


Рис. 3. Характер дифференцированной пористости при формировании газопенобетонных образцов (а); расположение стенового блока в структуре стены (б)

определялась по величине прочности на отрыв между слоями бетонов различной плотности на разрывной машине лаборатории ООО «ОмскстройЦНИЛ». Результаты определения свойств комплексных образцов и адгезионной прочности между слоями бетонов различной плотности приведены в таблице.

#### Свойства образцов, заформованных из бетонов различной плотности

Образцы из бетонов различной плотности	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа		Теплопроводность, перпендикулярно слоям формирования образцов, Вт/(м·°С)	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)
		при сжатии, параллельно слоям формирования образцов	адгезионная, между слоями бетона различной плотности		
Газобетон + пенобетон	460	1,5	0,76	0,13	0,22
Крупнопористый керамзитобетон + пенобетон	650	3,5	0,87	0,20	0,20
Керамзитобетон + пенобетон	890	4,0	0,82	0,22	0,18
Тяжелый бетон + пенобетон	1150	20	0,91	0,31	0,12

Необходимо отметить характер отрыва бетонов различных слоев. При испытании образцов, заформованных из керамзито- и пенобетона, разрушение происходит по слою пенобетона, что подтверждает более высокую адгезионную прочность по сравнению с когезионной. Разрушение образцов из тяжелого бетона и пенобетона осуществляется по контактному слою, что объясняется меньшей адгезионной прочностью между слоями материала и более высокой когезионной прочностью каждого из бетонов.

И, наконец, при испытании газопенобетонных образцов происходит разрушение то по газобетонному слою, то по пенобетонному, в зависимости от величины средней плотности и прочности этих слоев.

Установлено, что при создании стеновых изделий из бетонов, близких по величине средней плотности, необходима предварительная выдержка заформованного первого слоя до набора его структурной прочности с последующей заливкой второго.

При формировании изделий с применением бетонов с величиной средней плотности в пределах 900–2300 кг/м<sup>3</sup> и бетонов с плотностью 400–600 кг/м<sup>3</sup> рекомендуется последовательная заливка формовочных масс без предварительной выдержки нижнего, более плотного слоя бето-

на, при этом достигается адгезионная прочность между слоями, равная 0,76–0,91 МПа.

Экспериментальные исследования показали, что сцепление между разноплотными слоями в составе одного образца в контактной зоне зависит не только от технологических решений, таких как выдержка между заливкой слоев (керамзитобетон и пенобетон), очередности заливки слоев (газобетона и пенобетона), но и от плавности перехода плотностей бетона в контактной зоне композиционного стенового материала.

Е. С. Силаенков отмечает, что долговечность многослойной стены с эффективным утеплителем (пенополистирол, минераловатный утеплитель и др.) будет лимитироваться долговечностью утеплителя. С этой точки зрения наиболее надежными являются одно- и двухслойные стеновые изделия, выполненные из бетонов различной плотности. Например, однослойные стены из газо- или пенополистиролбетона плотностью 400–500 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 600 мм с учетом фактической величины теплопроводности ограждающей конструкции, которая на 25–40% ниже, чем величина теплопроводности, определенная по СНиП 23-02-03, обеспечат приведенное сопротивление теплопередаче, равное 3,5–3,7 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт. Причем стоимость 1 м<sup>2</sup> такой однослойной стены на 25–30% меньше, чем стоимость многослойной стены с самой экономичной системой утепления [9].

Двухслойные образцы — кубы отмеченных в таблице составов испытывались на попеременное увлажнение и высушивание, а также на морозостойкость. После 35 циклов испытаний образцы не разрушились и не отмечалось их расслоение.

Расчеты показывают, что себестоимость получения стеновых изделий из бетонов различной плотности ниже, чем с новыми теплоизоляционными системами на 15–20%. Это связано с упрощением технологического процесса производства и уменьшением энергетических затрат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Завадский В. Ф. Варианты стеновых конструкций с применением эффективных утеплителей/В. Ф. Завадский.— Новосибирск: НГАСУ, 2001.— 52 с.
2. Данилов Б. П. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной плотности/Б. П. Данилов, А. Л. Богданов.— М.: Стройиздат, 1973.— 102 с.
3. Чернов А. Н. Технология ячеистых изделий с уплотненным поверхностным слоем/А. Н. Чернов, Л. П. Кожевников, С. В. Хмелев и др.//Строительные материалы.— 1983.— № 8.— С. 12–13.
4. Курбатов В. Л. Энергоресурсосберегающие многослойные конструкции стеновых блоков/В. Л. Курбатов и др.//Изв. вузов. Строительство.— 1994.— № 9.— С. 4–9.
5. Коренькова С. Ф. Принципы формирования структуры конструкций с применением наполненных пенобетонов/С. Ф. Коренькова, В. Ю. Сухов, О. А. Веревкин//Строительные материалы.— 2000.— № 8.— С. 28–32.
6. Бабков В. В. Несущие наружные трехслойные стены зданий с повышенной теплозащитой/В. В. Бабков и др.//Строительные материалы.— 1998.— № 6.— С. 16–18.
7. Королев А. С. Повышения прочностных и теплоизоляционных свойств ячеистого бетона путем направленного формирования вариативной структуры/А. С. Королев, Е. А. Волошин, Б. Я. Трофимов//Строительные материалы.— 2005.— № 5.— С. 8–9.
8. Завадский В. Ф. Способы создания стеновых изделий переменной плотности/В. Ф. Завадский, Е. С. Корнев//Совершенствование качества строительных материалов и конструкций (модели, составы, свойства, эксплуатационная стойкость): Сб. науч. тр.— Новосибирск: НГАУ, 2005.— С. 87–89.
9. Силаенков Е. С. Напрасно отвернулись от однослойных стен/Е. С. Силаенков//Строительные материалы.— 1999.— № 9.— С. 38–39.

© Завадский В. Ф., Корнев Е. С., Завадская Л. В., 2007

Получено 16.03.07

В. П. СЕЛЯЕВ, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., Т. А. НИЗИНА, А. Л. ЛАЗАРЕВ, кандидаты техн. наук, доценты, Ю. А. ЛАНКИНА, В. В. ЦЫГАНОВ, аспиранты (Мордовский государственный университет, г. Саранск)

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Предложены функционально-градиентные защитные покрытия с повышенной стойкостью к воздействию климатических факторов. Показано, что для данных материалов действительно наблюдается неравномерное распределение свойств по высоте поперечного сечения. Изложена методика расчета касательных напряжений, возникающих в контактном слое железобетонных элементов с функционально-градиентным покрытием.

В реальных условиях эксплуатации материал строительных конструкций подвергается комплексному воздействию многочисленных факторов — агрессивной среды, перепаду температур, механических нагрузок и других энергетических воздействий. Одним из наиболее эффективных способов защиты железобетонных конструкций от преждевременного разрушения является применение полимерных покрытий, позволяющих существенно повысить их долговечность, трещиностойкость и несущую способность. При этом надежность создаваемых покрытий определяется характеристиками полимерной композиции, качеством подготовки подложки, а также возможностью покрытия выполнять различные функциональные требования.

Так, например, в изгибаемом элементе материал сжатой зоны должен обеспечивать прочность, жесткость, устойчивость конструкции и ее составляющих. В растянутой зоне должен иметь высокую прочность, деформативность при растяжении, быть трещиностойким, иметь хорошую адгезию к армирующим элементам. Требования к химическому сопротивлению материала в растянутой и сжатой зонах зависят от условий эксплуатации, назначения изделия и также могут быть различными. В связи с этим изучение свойств покрытий, их влияние, оказываемое на работу конструкции, приобретает особую остроту.

Современные эффективные строительные технологии невозможны без создания нетрадиционных материалов, обладающих уникальным набором свойств. Несомненно, к такому классу материалов следует отнести функционально-градиентные композиции, изменение физико-механических характеристик которых по высоте поперечного сечения происходит по определенному закону.

Известно, что эффект от покрытия наблюдается лишь при его совместной работе с основным материалом, что говорит о необходимости повышенного внимания при расчете таких конструкций к возникающим в контактном слое напряжениям и отслоению покрытия.

В работе [1] экспериментально доказано, что прочность изгибаемых композиционных материалов слоистого типа повышается на величину усилия, воспринимаемого покрытием, лишь при условии совместной работы покрытия и бетона, вплоть до разрушения. Если это условие не выполняется, и покрытие отслаивается или растрескивается до разрушения, то его прочность будет определяться по правилам расчета железобетонных изгибаемых элементов.

Основные причины потери работоспособности покрытий могут возникать в следующих случаях:

— из-за усадки, набухания и возникновения напряжения, которые могут вызвать растрескивание покрытия;

— изменение (ухудшение) свойств защитных покрытий под действием агрессивных сред, что также может привести к разрыву или отслоению;

— возникновение дополнительных напряжений в плотных, паронепроницаемых покрытиях под действием давления пара, которые усугубляют работу защитно-декоративных покрытий.

Кроме того, нормальная работа полимерного покрытия будет осуществляться до тех пор, пока агрессивная среда не проникнет к защищаемому слою вследствие диффузии материала покрытия агрессивной средой. Следовательно, при расчете конструкций с защитным покрытием по трещиностойкости необходимо выделить следующие предельные состояния:

— растрескивание покрытия;

— отслоение покрытия;

— проникновение агрессивной среды через покрытие к бетону.

Внедрение эффективных функционально-градиентных материалов для защиты железобетонных поверхностей от многочисленных агрессивных факторов является одним из способов получения конструкций, способных противостоять жестким эксплуатационным требованиям.

Органические функционально-градиентные материалы представлены в основном полимерами с неоднородными по составу зонами. Причем формирование непрерывного изменения свойств материала возможно при сочетании разнородных типов материалов, используя преимущества каждого из них. Неоднородного распределения свойств достигают как с помощью наполнителей, так и посредством регулирования соотношения компонентов.

Создание функционально-градиентных материалов, как правило, происходит в три этапа. На первом определяются функциональные требования к материалу в каждой точке объема или поперечного сечения изделия. На втором этапе обеспечивается соответствие материала в данной точке нормируемым функциональным требованиям. На третьем разрабатывается технология изготовления.

Большинство функционально-градиентных материалов разрабатывается в виде покрытий, композиция, микроструктура и свойства которых изменяются по толщине. В последнее время интенсивно исследуются различные методы получения градиентных структур, например, слоистые конструкции, пропитка, термическое распыление, порошковая металлургия, химические и физические методы напыления, термодиффузионная обработка и т.д.

Полимерные покрытия, применяемые в качестве облицовочных материалов для фасадов, кроме высоких прочностных и адгезионных характеристик, должны обладать повышенной стойкостью к действию климатических факторов. В работах [2–4] показана возможность получения функционально-градиентных материалов и покрытий на их основе, подвергающихся интенсивному УФ-излучению. Известно, что под действием тепла, кислорода воздуха, света, механических напряжений и других факторов полимерные материалы стареют — в них протекают процессы деструкции, сопровождающиеся изменением их химической и физической структур. Процессы деструкции приводят к растрескиванию полимеров, в результате происходит негативное влияние не только на изменение внешнего вида, но и на многочисленные физико-механические свойства композитов. Для предотвращения или замедления реакций окисления в полимерные материалы на стадии получения вводят антиоксиданты или стабилизаторы, повышающие их стойкость к старению.

При разработке полимерных ФГМ, применяемых в качестве защитных покрытий по бетонным и железобетонным конструкциям, подвергающимся интенсивному УФ-излучению, предлагается [2–4] сформировать

такое распределение свойств по сечению образца, при котором наружный слой будет защищать полимер от окислительной деструкции, а внутренние слои обладать повышенными прочностными и адгезионными характеристиками.

Для разработки функционально-градиентных материалов с перечисленным выше комплексом свойств были проведены экспериментальные исследования по влиянию оптимального содержания наполнителя и антиоксиданта органического происхождения на изменение прочностных характеристик и силы адгезионного сцепления покрытия с мелкозернистым бетоном основания. В результате проведенных исследований были получены функционально-градиентные композиции на основе эпоксидного связующего, обладающие высокими прочностными характеристиками и хорошей адгезией к бетону.

Анализ разработанных материалов показывает, что для данных образцов действительно наблюдается неравномерное распределение свойств по высоте поперечного сечения (рис. 1). Разработанные составы рекомендуется использовать в качестве защитных покрытий для бетонных оснований, подвергающихся агрессивному воздействию климатических факторов.

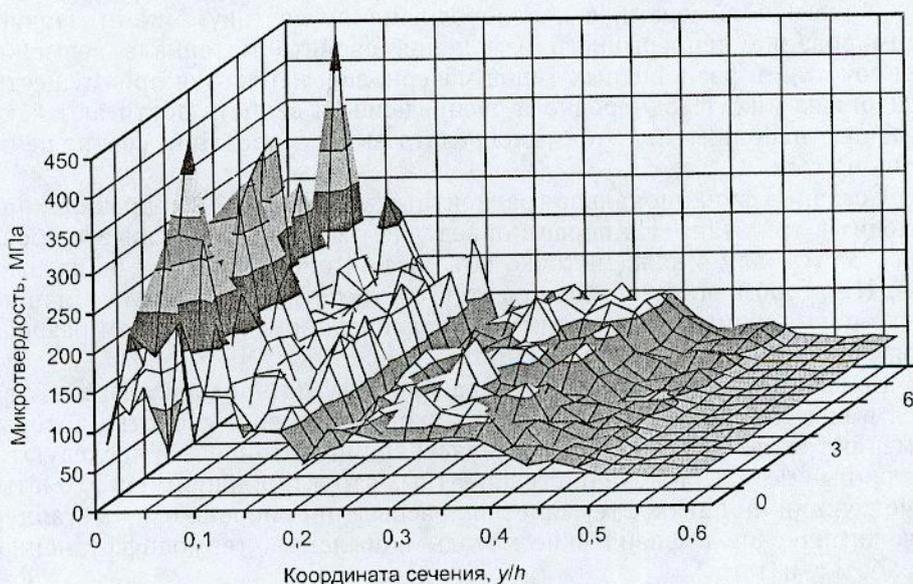


Рис. 1. Изменение микротвердости эпоксидных функционально-градиентных материалов по высоте сечения

Однако повышение надежности функционально-градиентных покрытий не всегда обеспечивается заданным распределением свойств полимерных композиций по высоте поперечного сечения. В ряде случаев целесообразно использовать изменение характеристик покрытия не только по высоте, но и по длине контактной зоны. Известно, что при работе изгибаемых изделий с покрытием в контактном слое возникают значительные сдвигающие и нормальные напряжения. При этом касательные напряжения имеют неравномерное распределение по длине образца  $\tau = \tau(z)$  и максимальные значения на краях, а нормальные напряжения неоднородны по высоте  $\sigma = \sigma(x)$ . Исходя из повышенного внимания к обеспечению совместной работы элемента и покрытия, целесообразно снизить сдвигающие напряжения на краях слоя.

Рассмотрим соединение полимерного покрытия с абсолютно жестким основанием посредством связующей прослойки, под которой обобщенно понимается любая непрерывная или приближенно мелкодисперсная дис-

кратная связь [5]. Толщина прослойки  $h = h(x)$  в общем случае переменна. Толщина покрытия принимается условно равной  $\delta$ .

Используем безразмерные координаты

$$\zeta = z/l; \quad \xi = x/l,$$

где  $l$  — протяженность соединения вдоль линии действия силы.

Распределение напряжений в связующей прослойке описывается формулой [5]

$$\frac{h_\xi}{h_0} \cdot \frac{G_0}{G_\xi} = \frac{\tau_0}{\tau_\xi} \left\{ 1 + \frac{G_0}{E} \cdot \frac{l}{\delta} \cdot \frac{l}{h_0} [F(\xi) - F(0)] \right\}, \quad (1)$$

где  $G_0$  и  $G_\xi$  — модули сдвига прослойки соответственно в начале координат и при различном значении  $\xi$ ;

$E$  — модуль упругости пластинки;

$\tau_0, \tau_\xi$  — касательные напряжения.

В данной формуле  $F(\xi) = \int J(\xi) d\xi$ ,

где  $J(\xi)$  определяется по формуле  $J(\xi) = \int_0^\xi \frac{\tau(\zeta)}{\tau_0} d\zeta$ .

Отношение  $f(\zeta) = \frac{\tau_\zeta}{\tau_0}$  определяет характер распределения напряжений сдвига  $\tau(z)$  по длине участка.

Имея целью выравнять напряжения сдвига в зоне контакта покрытия с основанием, назовем функцию  $f(\zeta) = 1$ . Соответственно имеем

$$J(\xi) = \xi, \quad F(\xi) = \frac{\xi^2}{2}, \quad F(0) = 0. \quad (2)$$

Учитывая (2), формула (1) запишется как

$$\frac{h_\xi}{h_0} \cdot \frac{G_0}{G_\xi} = 1 + \frac{G_0}{2E} \cdot \frac{l}{\delta} \cdot \frac{l}{h_0} \cdot \xi^2. \quad (3)$$

Если принять, что деформативные свойства прослойки неизменны на всем протяжении соединения, т. е.  $\frac{G_0}{G_\xi} = 1$ , то задача решается путем изменения толщины прослойки, которая рассчитывается из выражения

$$\frac{h_\xi}{h_0} = 1 + \frac{G_0}{2E} \cdot \frac{l}{\delta} \cdot \frac{l}{h_0} \cdot \xi^2. \quad (4)$$

На рис. 2 показан характер изменения толщины соединительной прослойки при постоянном модуле сдвига и различных значениях отношения  $l/h_0$  (при  $l/\delta = 10, G_0/E = 0,4$ ).

Если же принять неизменной толщину прослойки, т. е.  $\frac{h_\xi}{h_0} = 1$ , то задача

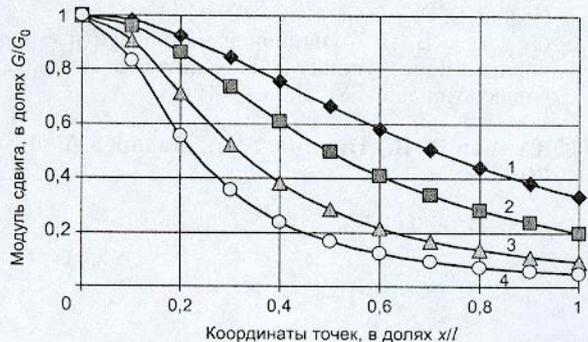


Рис. 2. Характер изменения толщины прослойки  $l - l/h_0 = 1; 2 - l/h_0 = 2; 3 - l/h_0 = 5; 4 - l/h_0 = 10$

будет решаться путем изменения деформационных свойств клеевой композиции

$$\frac{G_{\xi}}{G_0} = \frac{1}{1 + \frac{G_0}{2E} \cdot \frac{l}{\delta} \cdot \frac{l}{h_0} \cdot \xi^2} \quad (5)$$

На рис. 3 показано изменение модуля сдвига прослойки при постоянстве ее толщины (при  $l/\delta = 10$ ,  $G_0/E = 0,4$ ).

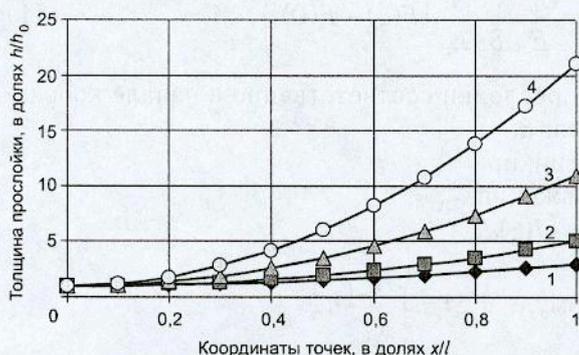


Рис. 3. Характер изменения модуля сдвига прослойки. Условные обозначения те же, что и на рис. 2

Изменение толщины прослойки в нашем случае можно добиться, увеличив или уменьшив глубину проникновения полимерной композиции в бетон. Величину модуля сдвига можно регулировать, например, с помощью введения в его состав определенного количества наполнителя.

На наш взгляд, преимущества использования функционально-градиентных материалов, по сравнению с традиционными, неоспоримы.

Современное развитие строительного материаловедения дает возможность проектировать функционально-градиентные покрытия с учетом условий эксплуатации, что позволит существенно повысить долговечность защищаемых конструкций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломатов В. И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. П. Селяев. — М.: Стройиздат, 1987. — 264 с.
2. Селяев В. П. Создание функционально-градиентных материалов на основе полимерных связующих / В. П. Селяев, С. И. Мартынов, Т. А. Низина и др. // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения: Восьмые acad. чтения РААСН. — Самара, 2004. — С. 462–465.
3. Селяев В. П. Функционально-градиентный материал для защитных покрытий / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Ю. А. Ланкина и др. // Изв. ТулГУ. Строительные материалы, конструкции и сооружения. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. — Вып. 7. — С. 111–116.
4. Селяев В. П. Эффективные защитные покрытия железобетонных строительных конструкций на основе функционально-градиентных материалов и интегрально-капиллярных систем / В. П. Селяев, Т. А. Низина // Новые научные направления строительного материаловедения: Матер. докл. acad. чтений РААСН. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. — С. 127–133.
5. Селяев В. П. Функционально-градиентные композиционные строительные материалы и конструкции / В. П. Селяев, В. А. Карташов, В. Д. Клементьев и др. — Саранск: Мордов. ГУ, 2005. — 160 с.

© Селяев В. П., Низина Т. А., Лазарев А. Л., Ланкина Ю. А., Цыганов В. В., 2007

Получено 06.03.07

Е. В. ВДОВИНА, В. В. ШЕВАНДО, А. В. АБДРАХИМОВ, инженеры (ПК «Наука», Усть-Каменогорск, Казахстан);  
В. З. АБДРАХИМОВ, Е. С. АБДРАХИМОВА, доктора техн. наук (Самарский государственный архитектурно-строительный университет)

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЙДЕЛЛИТОВОЙ ГЛИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Показано, что бейделлитовая глина в производстве кирпича без отошителей не может применяться, так как бейделлит, как и монтмориллонит, способствует образованию трещин на высушенном кирпиче-сырце. Плотная структура бейделлитовой глины и повышенное содержание в глине потерь при прокаливании способствуют вспучиванию при обжиге изделий. Бейделлитовые глины без добавок целесообразно применять в производстве керамзита.

Для производства керамических материалов в основном применяются глины гидрослюдистые, гидрослюдисто-каолиновые, гидрослюдисто-монтмориллонитовые, монтмориллонитовые, которые хорошо описаны в различных источниках литературы [1–3 и др.].

Сведения, касающиеся использования в керамических материалах бейделлитовой глины, встречаются в литературе крайне редко. В работе [4] было показано, что при использовании бейделлитовой глины в качестве связующего можно получить кирпич марок 150–175, при этом в составе керамических масс использовалось 40–50% золошлакового материала. Но подробного описания бейделлитовой глины в этой работе не приводится. С этой целью в настоящей работе нами изучена бейделлитовая глина Образцовского месторождения Самарской области.

Эта глина характеризуется как среднedisперсная, преимущественно с низким содержанием мелких и средних включений, представленных кварцем, железистыми минералами, гипсом и карбонатными включениями.

Основным порообразующим глинистым минералом в исследуемой глине является бейделлит. Среднее содержание его в глинистой составляющей 80%. Терригенные минералы в ней составляют около 10% и представлены в основном кварцем и в незначительных количествах рудными минералами, обломками глинистых и карбонатных пород.

Бейделлит ( $Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$ ) относится к минералам группы монтмориллонита и назван по местности Бейделл в Колорадо (США) [5]. Для кристаллической структуры группы монтмориллонита, как и для всех слюдообразных веществ, характерно слоистое расположение анионов и катионов. Отличительной особенностью по сравнению с минералами групп каолинита и галлуазита здесь является то, что «гидраргиллитовый» слой располагается между двумя слоями кремнекислородных тетраэдров. Химический состав бейделлита непостоянный; показывает переменные количества полуторных оксидов в зависимости от содержания воды. Кроме того, почти всегда в небольших количествах содержатся  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ , щелочные оксиды:  $Na_2O$  и  $K_2O$ , иногда  $MgO$ ,  $NiO$ ,  $MnO$  и др. Сингония моноклинная изредка встречается в тонких ромбовидных пластинках [5]. Обычно распространен в виде землистых масс вместе с монтмориллонитом в бентонитовых глинах. Показатели преломления непостоянны, зависят от содержания воды. Твердость пластинок 1,5. Спайность по {001}, плотность 2,6 г/см<sup>3</sup> (пластинок). Бейделлит обладает явно выраженной способностью к катионному обмену в строго эквивалентных соотношениях, набуханием в воде и других жидкостях. Поскольку после тонкого помола обмен катионами увеличивается до трех раз [5], считают, что эти обменные катионы могут располагаться не только на по-

верхности частиц, но и внутри кристаллических фаз (очевидно, в пространствах между слоистыми пакетами кристаллических структур).

По огнеупорности (1320–1350°C) глина относится к легкоплавким, но температура огнеупорности имеет верхний предел, близкий к температуре тугоплавких глин, по содержанию  $Al_2O_3$  относится к группе полукислого сырья, а по содержанию оксида железа — к группе с высоким содержанием красящих оксидов.

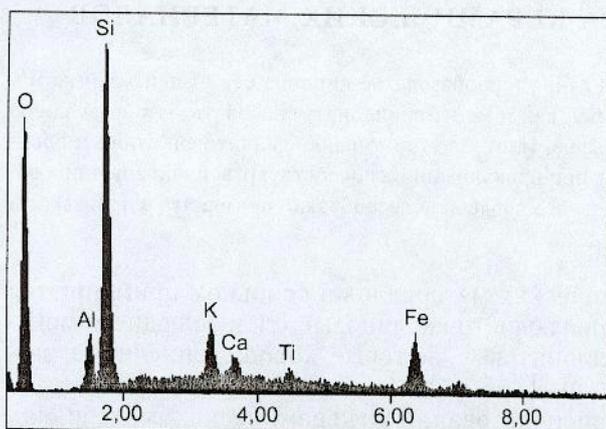


Рис. 1. Поэлементный химический анализ образцово́й глины

помощью электронного растрового сканирующего микроскопа Phillips 525M.

Таблица 1

Поэлементный химический анализ образцово́й глины

Компонент	Концентрация, мас. %						
	O	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Образцовая глина	52,01	4,57	16,7	7,55	0,98	1,00	17,19

Рентгенограмма и микроструктура образцов из исследуемой легкоплавкой глины представлены на рис. 2, 3.

На рентгенограмме для бейделлита характерны интенсивные линии ( $d/n = 0,260, 0,269, 0,282, 0,308$  и  $1,420$  нм), присутствие линии ( $d/n = 0,317$  нм) обусловлено гидрослюдой, а линии ( $d/n = 0,255$  нм) — каолиниту (рис. 2).

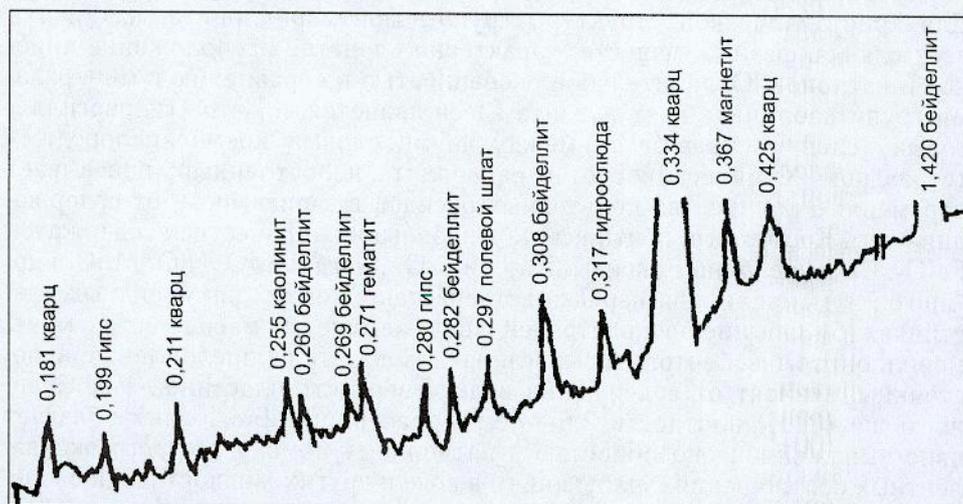


Рис. 2. Рентгенограмма образцово́й глины

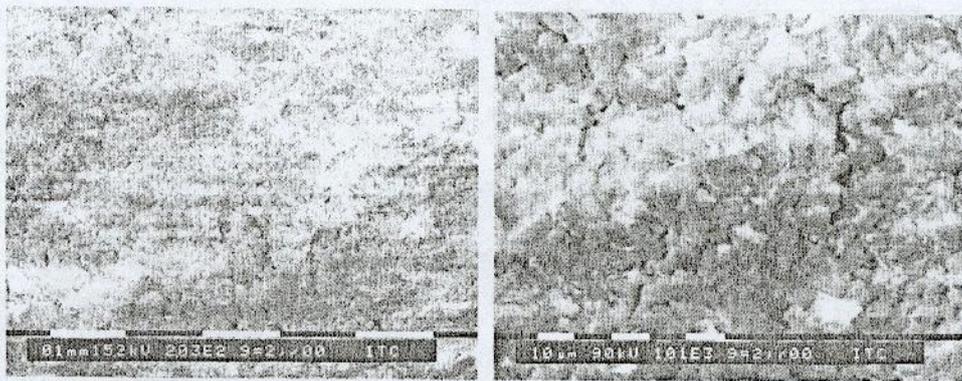


Рис. 3. Микроструктура образцов из образцовской глины. (Увеличение 1000)

Как видно из рис. 2, в образцовской глине, кроме глинистых минералов (бейделлита, каолинита и гидрослюда), присутствуют часто встречающиеся в глинах минералы: кварц, гипс, полевой шпат, а также редко встречающиеся минералы: магнетит и гематит ( $d/n = 0,271$  и  $0,367$  нм).

Название гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) происходит от греческого слова «гематикос» — кровавый [5]. В природе известны две полиморфные модификации оксида железа:  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  — тригональная, устойчивая и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  — кубическая, неустойчивая. Синонимы: железный блеск, железная слюдка, красный железняк (плотная скрытокристаллическая разновидность), железная сметана (красная порошковатая разновидность). Мартитом называют псевдоморфозы гематита по магнетиту [5].

В гематите содержание Fe = 70%, иногда в виде изоморфных примесей присутствуют Ti (титангематит) и Mg. В незначительных количествах обнаруживается также вода (гидрогематит, встречающийся обычно в коломорфном виде). В скрытокристаллических плотных массах часто устанавливается присутствие кремнезема и глинозема в виде механических примесей. Кристаллическая структура аналогична структуре корунда [5].

Гематит образуется в окислительных условиях в самых различных генетических типах месторождений и горных пород. Температуры образования могут колебаться в широких пределах, но при высоких температурах он неустойчив. Как составная часть, гематит в очень незначительных количествах иногда присутствует в изверженных породах, преимущественно кислых (в гранитах, сиенитах, андезитах и др.). Сравнительно редко он встречается в пегматитах и глинах как минерал, образовавшийся в гидротермальный этап процесса.

В некоторых гидротермальных месторождениях он встречается в значительных массах в ассоциации с кварцем, баритом, иногда магнетитом, сидеритом, хлоритом и другими минералами [5]. Явление позднейшего восстановления гематита до магнетита наблюдается довольно часто. Однако в других местах устанавливается обратный процесс — превращение магнетита в гематит (процесс мартизации). Очевидно, эти явления связаны с изменением окислительно-восстановительного потенциала уже после отложения этих минералов из гидротермальных растворов. В работах [1–3] было показано, что гематит способствует спеканию керамических материалов.

Для анализа размера частиц исследуемой бейделлитовой глины был проведен металлографический анализ на микроскопе МИН-8М при увеличении в 200 раз ( $\times 200$ ). Частицы глины растворялись в спирте, наносились на стекло и фотографировались с помощью фотоаппарата. Для того, чтобы определить точно размеры частиц, было заснято несколько участков объекта. Используя шкалу объекта микрометра (1 дел. = 0,01 мм), сфотографированную при этих же условиях, можно определить средний размер час-

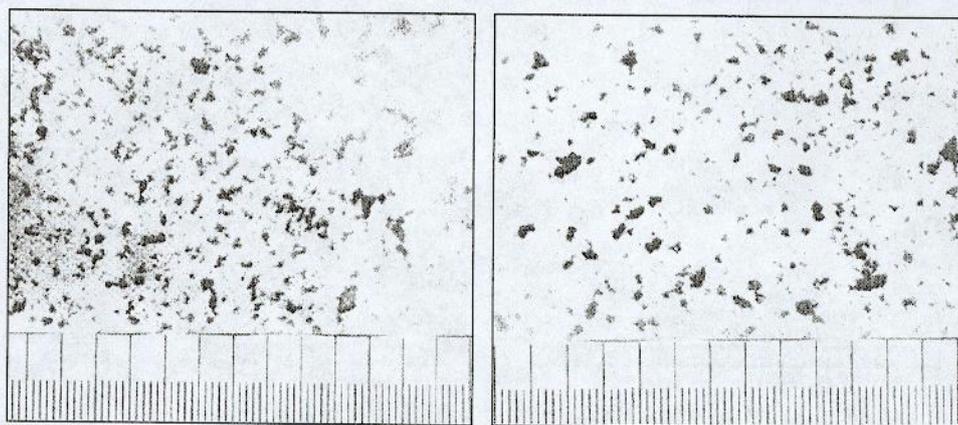


Рис. 4. Металлографический анализ бейделлитовой глины

тиц глины. Средний размер частиц 0,001–0,003 мм (1–3 мкм, рис. 4), для сравнения можно привести размеры частиц каолинита, монтмориллонита и гидрослюда, которые соответственно равны: 3–5, до 1 и 1–3 мкм [1].

Под микроскопом в иммерсионных препаратах бейделлит, как и монтмориллонит, наблюдается в виде бесцветных тонкодисперсных частиц с показателями светопреломления  $N_{\text{ср}} - 1,560$ , размеры которых не превышают 1–3 мкм.

Изменениям, происходящим при нагревании образцовской глины, соответствуют три эндотермических эффекта: 140, 560 и 860°C (рис. 5).

При термическом анализе бейделлита (структурная форма в отсутствии замещений —  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) большой эндотермический эффект, вследствие удаления поглощенной воды, отмечается при 140°C.

Второй эндотермический эффект (560°C) соответствует удалению конституционной воды. Слоистая структура сохраняется до 800°C и выше.

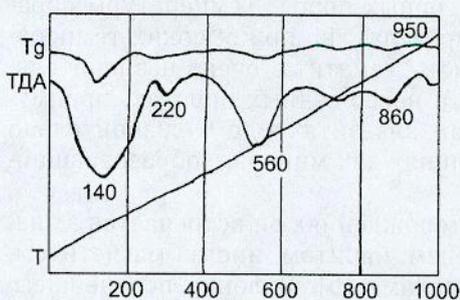


Рис. 5. Термограмма образцовской глины

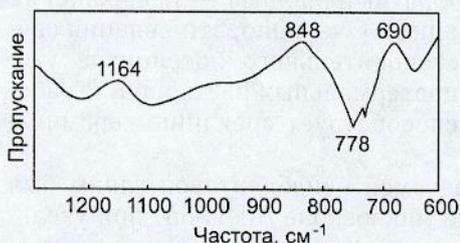


Рис. 6. ИК-спектр поглощения образцовской глины

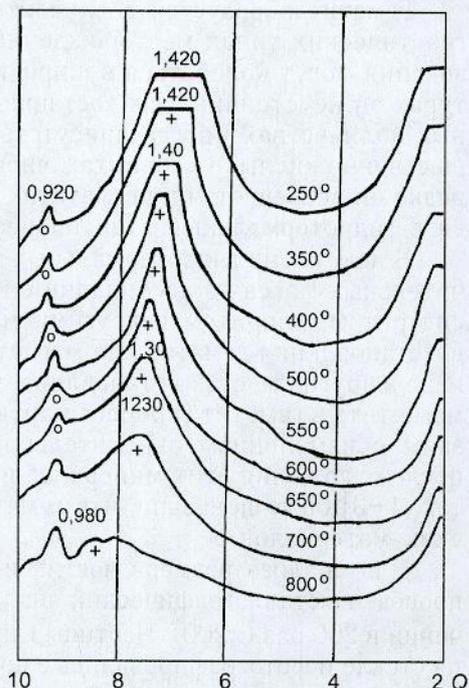


Рис. 7. Рентгенограммы ориентированного препарата образцовской глины, обожженной при различных температурах: + — рефлексы бейделлита; o — рефлексы цеолита

Третий эндотермический эффект (860°C) переходит в экзотермический при 900–1000°C.

Эндотермический эффект при 860°C объясняется удалением ионов  $\text{OH}^-$ , связанных с  $\text{Mg}^{2+}$ , или распадом решетки.

Экзотермический эффект с максимумом при температуре около 400°C объясняется процессами окисления и сгорания органических примесей (содержание гумусовых веществ в образцовской глине до 2%), а с максимумом (эндотермическим) 860°C связана диссоциация кальцита. Экзотермический эффект 950°C соответствует процессам новообразования, появляющихся при этой температуре в образцовской глине.

На ИК-спектре (рис. 6) полоса  $848 \text{ см}^{-1}$  (частота колебаний в  $\text{см}^{-1}$  равна  $10^4/\lambda$ , где  $\lambda$  — длина волны в мк, мк — микрометр =  $10^{-6}$  м) соответствует бейделлиту или монтмориллониту и возникает в результате деформационных колебаний структуры  $\text{OH}$ -групп, связанных с катионами  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Полосы  $1164 \text{ см}^{-1}$ , как установлено, соответствуют колебаниям адсорбированных на поверхности минерала молекул воды.

Минералогический состав образцовской глины представлен в табл. 2.

Таблица 2

Минералогический состав образцовской глины

Глинистые материалы месторождений	Содержание минералов, мас. %						
	Гидрослюда	Кварц	Гипс	Полевой шпат	Каолинит + иллит	Бейделлит	Оксиды железа
Образцовского	5–10	20–25	2–3	10–15	3–5	35–45	5–7

Нами было изучено влияние температуры обжига образцовской глины на изменение структуры монтмориллонита с целью определения температуры, при которой сжатие его структуры приобретает необратимый характер.

Были приготовлены ориентированные препараты из образцовской глины, которые затем обжигали в интервале температур 250–800°C через 50°C.

На рис. 7 приведены результаты рентгеновского исследования ориентированных препаратов из образцовской глины, обожженных при различных температурах. Можно выделить три интервала температур, в каждом из которых происходит своеобразное изменение решетки монтмориллонита ( $2\theta$  — угол между осью счетчика и первичным пучком).

При температуре 550°C и выше происходит резкое уменьшение интенсивности рефлекса 1,420 нм (единицы измерения на рентгенограммах приведены в нанометрах,  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ), а при температуре 650°C наблюдается дискретное сжатие решетки бейделлита, и на рентгенограмме появляется рефлекс 1,30 нм, положение которого с незначительными изменениями сохраняется до температуры 700°C. Выше этой температуры на рентгенограммах наблюдается уже слабый рефлекс в области 0,980 нм.

В результате проведенных исследований был установлен оптимальный температурный интервал в пределах 600–750°C, в котором образцовская глина сохраняет частичную способность к набуханию, но не образует пластичного теста.

Образцовская глина в производстве кирпича без отощителей не применяется, так как содержащийся в ней бейделлит способствует образованию трещин на высушенном кирпиче-сырце.

Кроме того, как было указано в работах [1–3] бейделлит, как и монтмориллонит, способен интенсивно поглощать довольно большое количество воды, прочно ее удерживать и трудно отдавать при сушке, а также сильно набухать при увлажнении с увеличением в объеме до 16 раз.

Плотная структура бейделлитовой глины (см. рис. 3) и повышенное содержание в глине потерь при прокаливании (п.п.п. более 7%, табл. 1) способствуют вспучиванию при обжиге изделий. Бейделлитовые глины без добавок целесообразно применять в производстве керамзита.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роговой М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики/М. И. Роговой.— М.: Стройиздат, 1974.— 320 с.
  2. Абдрахимов В. З. Технология стеновых материалов и изделий/В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова.— Самара: Изд-во Самарский ГАСУ, 2005.— 192 с.
  3. Кашкаев И. С. Производство глиняного кирпича/И. С. Кашкаев, Е. Ш. Шейман.— М.: Высшая школа, 1970.— 284 с.
  4. Абдрахимов В. З. Использование золы ТЭС в производстве керамического кирпича/В. З. Абдрахимов//Межвуз. сб. науч. тр. «Повышение энергоэффективности зданий и сооружений». — 2006.— Вып. 1.— С. 88–92.
  5. Бетехтин А. Г. Курс минералогии/А. Г. Бетехтин.— М.: Госгеолтехиздат, 1961.— 540 с.
- © Вдовина Е. В., Шевандо В. В., Абдрахимов А. В., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., 2007

Получено после доработки 09.01.07

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.003.12

А. Г. КУЗЬМИНСКИЙ, д-р экон. наук, проф., В. А. ИЗАТОВ, канд. экон. наук, доц., В. В. ЧЕРЕНКОВ, инж. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

### МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ИНВЕСТОРОМ ВАРИАНТА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Предложена методика обоснования выбора инвестором конструктивного решения здания на стадии эскизного проектирования, обеспечивающая высокую степень достоверности расчетов.

В рыночных условиях строительство жилья в значительных объемах осуществляется по индивидуальным проектам. Сегодня инвестор определяет выбор варианта объемно-планировочного и конструктивного решения здания своими инвестиционными возможностями. Процедуру выбора инвестор выясняет на стадии эскизного проектирования. В качестве критерия выбора выступают максимальные и минимальные сметные оценки — оценки сметной стоимости строительства объектов (ОСССО).

Оценки рекомендуется формировать с использованием укрупненных сметных норм УПСС — «Укрупненные показатели стоимости строительства». В практических расчетах используются УПСС отмененных сметно-нормативных баз. Это объясняется тем, что процесс разработки этой

группы норм в составе действующей сметно-нормативной базы только начинается.

Новые укрупненные сметные нормы разрабатываются на основании данных по зданиям, законченных проектированием, и зданиям, законченными строительством. Естественно, что новые УПСС учитывают конкретное объемно-планировочное решение и конструктивное решение здания в текущем уровне цен на момент разработки и поэтому не могут адекватно отражать объемно-планировочное и конструктивное решение здания в варианте, выбранном инвестором.

Возникшая проблема решается предлагаемой авторами методикой. Данная методика позволяет формировать весь ряд экономических оценок по возможным вариантам конструктивного решения при конкретном объемно-планировочном решении здания.

Методическое обеспечение, предлагаемое авторами, строится на следующих условиях:

— объемы конструкций зависят от объемно-планировочного решения здания;

— конструктивные элементы здания (фундамент, стены, перекрытия и т.д.) многовариантны в решении;

— выбор варианта конструктивного решения здания выполняется инвестором на основании сопоставления сметных оценок и своих инвестиционных возможностей.

Выбор конструктивного решения здания инвестором на предпроектной стадии выполняется в восемь этапов по нижеприведенному алгоритму (рисунок).

На *первом этапе* на основании объемно-планировочного решения, принятого инвестором, разрабатываются объемы конструктивных элементов и показатели расхода конструктивных элементов на 1 м<sup>2</sup> общей (или жилой) площади.

На *втором этапе* по каждому конструктивному элементу определяются возможные варианты конструктивного решения.

На *третьем этапе* формируются наборы расхода ресурсов (с использованием государственных элементных сметных норм ГЭСН-2001) по каждому конструктивному элементу по возможным вариантам конструктивных решений.

На *четвертом этапе* — варианты конструктивного решения здания.

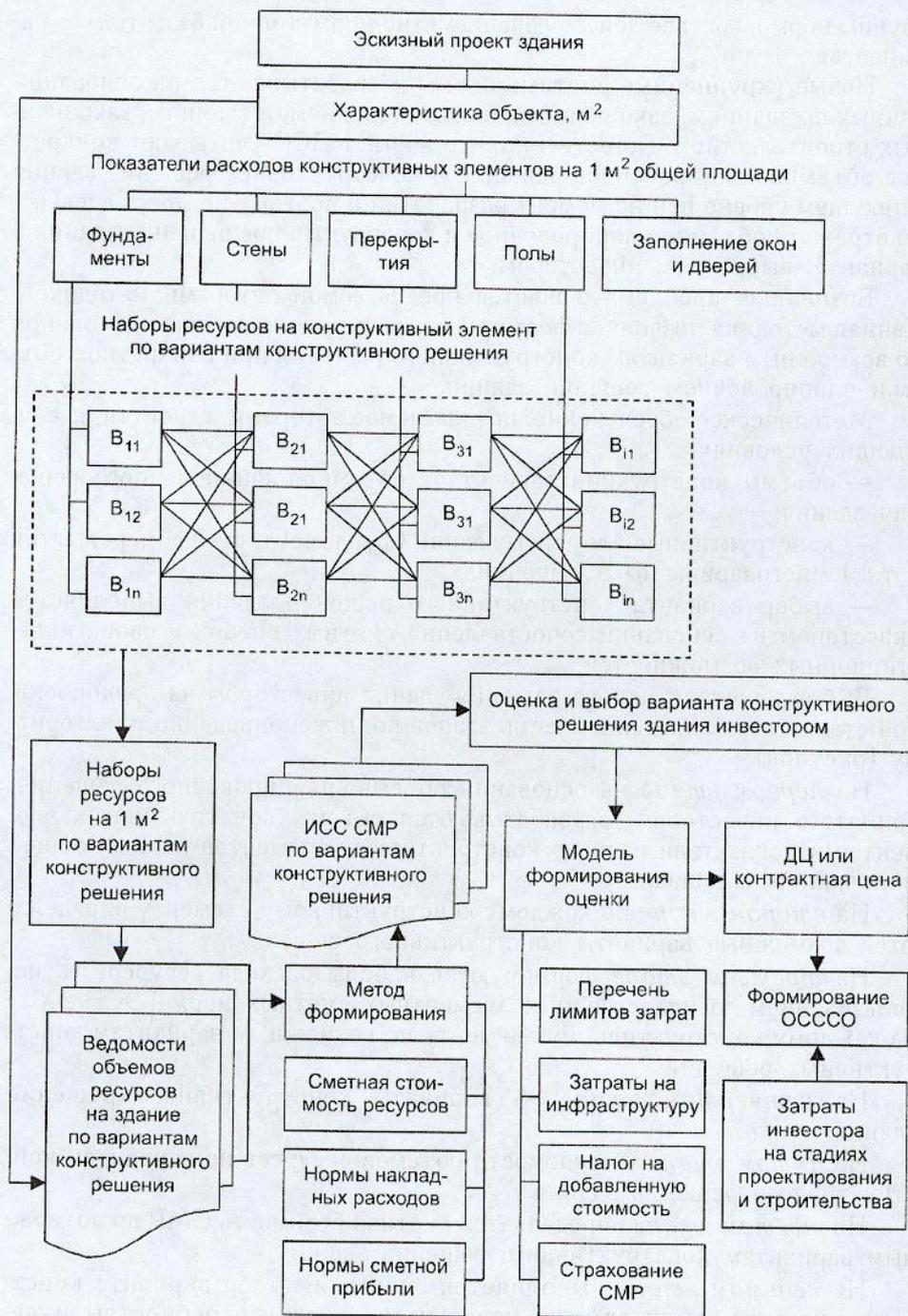
На *пятом этапе* — ведомости объемов ресурсов по вариантам конструктивного решения здания.

На *шестом этапе* определяется сметная стоимость СМР по возможным вариантам конструктивного решения здания.

На *седьмом этапе* выполняется оценка и выбор варианта конструктивного решения здания, удовлетворяющего потребностям инвестора.

На *восьмом этапе* по выбранному варианту конструктивного решения здания формируются сметные затраты на основании сметной стоимости СМР в объеме договорной или контрактной цены на строительную продукцию, или в объеме оценки сметной стоимости строительства объекта (ОСССО).

На первом этапе определяются объемы конструктивных элементов в квадратных метрах и показатели расхода конструктивных элементов. Детализация объемов принимается по основным конструктивным элементам здания: фундаментам, наружным стенам, внутренним стенам, перегородкам, перекрытиям, оконным заполнениям, дверным заполнениям,



Алгоритм формирования норм набора ресурсов по вариантам конструктивного решения здания и сметных оценок

полам, кровле, отмостке. Объемы конструктивных элементов сводятся в табл. 1.

Показатели расхода конструктивных элементов рассчитываются на принятую единицу измерения. В качестве единицы измерения может быть принята элементная или укрупненная единица измерения — квадратный метр общей площади, 10 (или 100) квадратных метров общей площади. Укрупненные единицы измерения увеличивают трудоемкость расчетов на последующих этапах.

Таблица 1

Объемы конструктивных элементов по принятому инвестором  
объемно-планировочному решению здания

№ пп	Наименование конструктивного элемента	Единица измерения	Количество
1	Фундаменты	м <sup>2</sup>	*
2	Стены наружные	м <sup>2</sup>	*
...	...	...	...
n	Отмостка	м <sup>2</sup>	*

Примечание. \* расчетный параметр

Показатели расхода конструктивных элементов ( $\Pi_i$ ) рассчитываются по формуле

$$\Pi_i = \frac{U_i}{N}, \quad (1)$$

где  $i$  — порядковый номер конструктивного элемента ( $i = \overline{1, m}$ );

$U_i$  — объем конструктивных элементов по эскизному проекту, м<sup>2</sup>;

$N$  — мощность здания, полезная площадь по эскизному проекту, м<sup>2</sup>.

Данные результатов расчетов первого этапа сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Показатели расходов основных конструктивных элементов на 1 м<sup>2</sup> общей площади жилого здания по принятому объемно-планировочному решению

Жилые дома	Фундаменты, м <sup>2</sup>		Стены наружные, м <sup>2</sup>	Стены внутренние, м <sup>2</sup>	Перегородки, м <sup>2</sup>	Перекрытия, м <sup>2</sup>	Лестничные марши, м <sup>2</sup>	Полы, м <sup>2</sup>	Кровля, м <sup>2</sup>	Заполнение оконных и дверных проемов, м <sup>2</sup>	Отмостка, м <sup>2</sup>
	Ленточные	Свайные									
1-этажные											
2-этажные											
...											

Объемы ресурсов по конструктивному элементу по вариантам конструктивных решений определяются по формуле

$$R_i = \Pi_i \cdot k_i \cdot H_{ji}, \quad (2)$$

где  $j$  — вид ресурса, в потребительских единицах измерения;

$k_i$  — коэффициент пересчета нормы расхода ресурсов на конструктивное решение к конструктивному элементу  $i$  ( $i = \overline{1, m}$ );

$H_{ji}$  — норма расхода ресурсов  $j$  на конструктивное решение по варианту конструктивного элемента  $B_i$ , в потребительских единицах измерения (нормы принимаются по сборникам ГЭСН-2001).

Признаком необходимости расчета «коэффициента пересчета нормы расхода ресурсов» является несовпадение единиц измерения норм расхода ресурсов на конструктивное решение и конструктивного элемента. Например, по методике конструктивные элементы исчислены в квадратных метрах, а норма расхода ресурсов, например, на кирпичную кладку наружных стен — в кубических метрах. При толщине стены в три кирпича (77 см) «коэффициент пересчета» принимается равным 0,77 и т.д. При совпадении единиц измерения «коэффициенты пересчета» равны единице.

На четвертом этапе формируется матрица возможных вариантов конструктивного решения здания:

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= B_{11} + B_{21} + B_{31} + \dots + B_{n1} \\ B_2 &= B_{12} + B_{22} + B_{32} + \dots + B_{n2} \\ &\dots \\ B_m &= B_{1m} + B_{2m} + B_{3m} + \dots + B_{nm} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

На пятом этапе формируются ведомости объемов ресурсов по вариантам конструктивного решения здания:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= N \cdot (R_{11} + R_{21} + R_{31} + \dots + R_{n1}) \\ R_2 &= N \cdot (R_{12} + R_{22} + R_{32} + \dots + R_{n2}) \\ &\dots \\ R_m &= N \cdot (R_{1m} + R_{2m} + R_{3m} + \dots + R_{nm}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Объемы ресурсов по вариантам конструктивного решения здания сводятся в табл. 3.

Таблица 3

**Ведомость объемов ресурсов по вариантам конструктивного решения здания ( $R_m$ )**

№ пп	Код	Наименование ресурсов	Единица измерения	Количество
		<i>Вариант <math>B_1</math></i>		
1		Трудоемкость	чел.-ч	*
2		Строительные машины	м.-ч	*
...	.....	.....	.....	.....
...	.....	Строительные материалы		
		<i>Вариант <math>B_2</math></i>		
...	.....	.....	.....	.....
		<i>Вариант <math>B_3</math></i>		
...	.....	.....	.....	.....

Примечание. \* расчетный параметр

Сметная стоимость СМР по конкретному конструктивному решению здания может быть сформирована следующим образом:

а) ресурсным методом в текущем (или прогнозном) уровне цен на ресурсы и тарифы по модели

$$C_{СМР}^t = R_m \cdot C_j + 3 \cdot \left( \frac{H_p}{100} + \frac{\Pi_c}{100} \right), \quad (5)$$

где  $t$  — момент расчета, месяц (год);

$R_m$  — набор ресурсов по варианту  $m$  на жилой дом;

$C_j$  — сметная стоимость ресурсов  $j$  в текущем уровне цен, р.;

$3$  — сметная заработная плата рабочих строителей и механизаторов в составе набора ресурсов  $H_{ij}$ , р.;

$H_p$  — норма накладных расходов — от суммы заработной платы рабочих строителей и механизаторов, %;

$\Pi_c$  — норма сметной прибыли — от суммы заработной платы рабочих строителей и механизаторов, %;

б) ресурсно-индексным методом в текущем (или прогнозном) уровне цен на ресурсы и тарифы по модели

$$C_{СМР}^t = R_m \cdot C_j^6 \cdot I_j^t + 3 \cdot \left( \frac{H_p}{100} + \frac{П_c}{100} \right), \quad (6)$$

где  $C_j^6$  — сметная стоимость ресурсов  $j$  в базисном уровне цен, р.;  
 $I_j^t$  — прогнозный индекс — показатель изменения стоимости СМР на момент расчета  $t$ .

На седьмом этапе формируются сметные оценки вариантов конструктивного решения здания. Оценки формируются в объеме (инвесторской) сметной стоимости СМР.

По сметным оценкам инвестор выбирает окончательный вариант конструктивного решения здания.

На восьмом этапе формируется цена на строительную продукцию — «оценка сметной стоимости строительства».

Методика экономического обоснования выбора инвестором варианта конструктивного решения жилого здания может быть реализована вручную или в автоматизированном режиме, например, в системе программного продукта АВС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьминский А. Г. О методике определения объемов сельского строительства / А. Г. Кузьминский, В. А. Ванеев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1962. — № 5.
2. Кузьминский А. Г. Ценообразование и сметное нормирование в строительстве: Учеб. пособие / А. Г. Кузьминский, А. И. Щербаков: 3-е изд., перераб.; Гриф УМО «Производственный менеджмент» МОиОП РФ. — Новосибирск, 2004. — 556 с.

© Кузьминский А. Г., Изатов В. А., Черенков В. В., 2007

Получено 20.03.07

УДК 69.003 : 658.012.12

А. И. РОМАНОВА, д-р экон. наук, проф., А.Р. ИБРАГИМОВА, канд. экон. наук, А. М. ХАТЫПОВ, асп. (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

### ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

По результатам исследований регионального опыта управления инвестиционно-строительным комплексом обоснованы приоритетные направления развития и схема оценки конкурентных преимуществ предприятия.

В выборе стратегии предприятия приоритеты проставляются в зависимости от внутренних и внешних условий функционирования предприятия. При этом важно учитывать наиболее значимые факторы конкурентных преимуществ. Финансово-экономическое состояние является определяющим в оценке конкурентоспособности по внутренним факторам и рассматривается в двух направлениях: с точки зрения масштаба охвата рынка; с точки зрения финансовой стабильности и наличия соответствующих внутренних резервов для реализации той или иной стратегии. Степень благоприятности внешних условий определяется совокупностью трех показателей внешних конкурентных преимуществ. На основе данных показателей можно определить количественный критерий выбора перспективных направлений дальнейшего развития предприятия по формированию или удержанию конкурентных преимуществ. В связи с этим

нами предложена модель выбора приоритетных стратегических направлений развития строительных предприятий.

Расчет критерия выбора стратегических направлений  $S$  предлагаем осуществлять по формуле

$$S = 0,5 \times (D_i / D_{\text{ср}}) \times \left[ \sum_{a=1}^{13} Y_j / 13 + \sum_{a=1}^3 Y_i / 3 \right],$$

где  $D_i / D_{\text{ср}}$  — отклонение фактического показателя коэффициента доли рынка от нормального (среднеотраслевого);

$\sum_{a=1}^{13} Y_j$  — значение внутреннего фактора конкурентного преимущества, определяемое по сумме отклонений фактических показателей предприятия от нормальных;

$\sum_{a=1}^3 Y_i$  — значение внешнего фактора конкурентного преимущества;

0,0769; 0,333 — коэффициенты нормального уровня суммы отклонений финансовых показателей и показателей платежеспособности потребителей и заказчиков соответственно.

Если графически изобразить взаимоположение данных показателей, отложив на осях их значения и объединить искомые точки позиций, можно получить треугольник (рис. 1), у которого основанием будет сумма показателей внешней среды и финансового состояния предприятия, а высотой — значение коэффициента доли рынка. Площадь треугольника в этом случае обозначает область приоритетного стратегического направления, а количественное значение — критерий выбора  $S$ . Необходимо отметить, что все показатели имеют одинаковую размерность, являются относительными, поэтому их применение в указанной формуле вполне правомерно.

Каждый показатель можно разложить на уровни: высокий, средний, слабый, низкий. На этой основе с учетом особенностей каждой стратегии были определены граничные значения критерия  $S$ , соответствующего каждому стратегическому направлению развития предприятия:

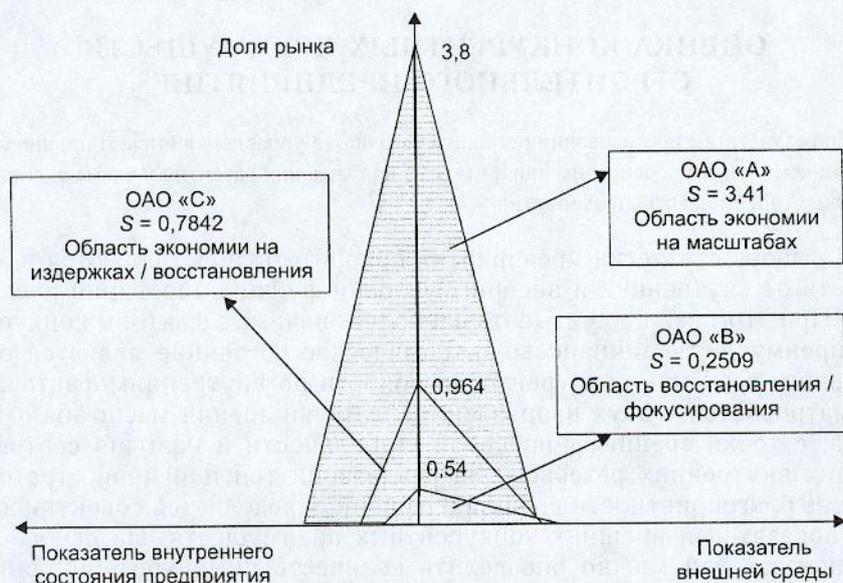


Рис. 1. Области стратегических направлений строительных предприятий

1) стратегия восстановления «А» необходима для аутсайдеров рынка и слабых предприятий по финансовым показателям, по доле рынка и по отрицательным внешним факторам;  $S = 0,25$  и меньше;

2) стратегия фокусирования «В» приемлема для средних и слабых предприятий с нестабильным финансовым состоянием, но при благоприятных внешних условиях;  $S = 0,25 - 0,49$ ;

3) стратегии дифференциации «С» следуют лидеры рынка и средние предприятия, при этом неблагоприятное внешнее воздействие компенсируется наличием достаточных финансовых ресурсов;  $S = 0,49 - 0,54$ ;

4) стратегии экономии на издержках «D» придерживаются лидеры рынка, их размер определяющий в показателе;  $S = 0,54$  и выше.

Выбор приоритетных стратегических направлений для некоторых строительных предприятий может быть основан на информации таблицы.

#### Основные различия базовых стратегических направлений развития строительных предприятий

Аспекты конкурентной борьбы	Восстановление	Фокусирование	Дифференциация	Экономия на масштабах
Строительная продукция	Качество на уровне среднего	Качество высокое	Качество высокое	Качество высокое
Оборудование и персонал	Отсутствие модернизированного оборудования. Малочисленный высококвалифицированный персонал с универсальными знаниями и навыками	Модернизированное оборудование. Малочисленный высококвалифицированный персонал со специализированными знаниями и навыками	Модернизированное оборудование. Многочисленный высококвалифицированный персонал с универсальными знаниями и навыками	Модернизированное оборудование. Многочисленный высококвалифицированный персонал со специализированными знаниями и навыками
Финансовые ресурсы	Направление финансовых ресурсов на восстановление и диверсификацию	Направление финансовых ресурсов на разработку целевого сегмента	Направление финансовых ресурсов на вертикальное расширение производства	Направление финансовых ресурсов на горизонтальное расширение производства

В качестве примера рассмотрим более подробно графическую модель областей стратегических направлений предприятий ОАО «А», ОАО «В», ОАО «С» (рис. 1).

В результате расчета можно заключить, что предприятие ОАО «А» должно придерживаться стратегии экономии на масштабах в силу лидирующего положения на рынке с целью укрепления обороны имеющихся конкурентных преимуществ. Наличие платежеспособных потребителей и малой доли рынка ориентируют ОАО «В» в направлении фокусирования, однако крайне слабое финансовое состояние позволяет говорить о необходимости восстановления данного предприятия. ОАО «С» имеет слабые финансовые ресурсы, но средняя доля рынка направляет данное предприятие в область стратегии дифференциации.

Ни одно строительное предприятие не может достичь конкурентного преимущества без выбора стратегических приоритетов, в наибольшей степени соответствующих тенденциям развития рыночной ситуации и наилучшим способом использующих сильные стороны деятельности предприятия. В связи с этим общую последовательность диагностики конкурентных преимуществ можно привести в виде схемы (рис. 2).

Оценку конкурентных позиций необходимо рассматривать как часть постоянно действующего процесса исследования внутренних и внешних



Рис. 2. Общая схема оценки конкурентных преимуществ

факторов деятельности предприятия, направленного на изучение приемов и методов ведения конкурентной борьбы с целью выявления причин и условий их возникновения.

**Выводы.** Апробация методики оценки конкурентных преимуществ позволила заключить, что строительные предприятия Республики Татарстан имеют в основном низкий уровень конкурентоспособности, являющийся следствием нестабильного финансового состояния и в целом неблагоприятной внешней среды. Анализ внутренних и внешних факторов конкурентных преимуществ с позиции динамики их изменения показал их принадлежность преимущественно первому и второму этапам развития в жизненном цикле предприятия — периоду потенциальных возможностей и периоду становления конкурентных преимуществ, что делает необходимым разработку стратегического направления в области формирования конкурентоспособности.

В результате исследования базовых стратегий конкуренции и выявления их характерных особенностей, свойственных для определенной конкурентной позиции, была предложена и рассчитана модель выбора приоритетного направления развития строительного предприятия с целью становления конкурентных преимуществ.

Таким образом, предложенная комплексная методика выбора и оценки конкурентных преимуществ позволит строительному предприятию реально оценивать свои возможности по ведению конкурентной борьбы, позиционировать себя относительно конкурентов с учетом текущей рыночной ситуации и грамотно ориентироваться в вопросах выбора перспективного направления дальнейшего развития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романова А. И. Разработка показателей оценки и критериев внутренних и внешних факторов конкурентных преимуществ / А. И. Романова, А. Р. Ибрагимова, А. М. Хатыпов // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 6.

2. Романова А. И. Развитие конкурентоспособного регионального строительного комплекса: проблемы и перспективы / А. И. Романова, А. Р. Ибрагимов, М. Ш. Хуснуллин и др. — Казань: КГАСУ, 2005. — 208с.

© Романова А. И., Ибрагимов А. Р., Хатыпов А. М., 2007

Получено 06.02.07

УДК 693.547.34

В. В. МОЛОДИН, канд. техн. наук, доц. (ООО «Евросити», г. Новосибирск);  
С. Н. АНДРИЕВСКИЙ, доц., Ю. В. ЛУНЕВ, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МОНОЛИТНОГО КАРКАСА ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Разработан и практически реализован метод расчетного обоснования управляемого температурного режима тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне. Обоснованы физические и математические модели динамики температурного поля для колонн и плит перекрытий. Численная аппроксимация математических моделей выполнена по неявной разностной схеме дробных шагов.

В современных условиях строительства возросшие объемы зимних бетонных и железобетонных работ, а также дефицит электроэнергетических ресурсов и их возросшая стоимость обусловили необходимость пересмотра традиционного подхода к выбору метода зимнего бетонирования и к обоснованию параметров выбранного метода. Кроме того, несмотря на чрезвычайную важность выполнения температурных ограничений действующих нормативных документов, в настоящее время их трудно (недопустимость перегрева или недогрева бетона) или даже невозможно (предельно допустимая скорость перестройки температурного поля после включения или выключения нагревателей) проконтролировать как на стадии проектирования, так и на стадии производства зимних бетонных и железобетонных работ.

Все указанные обстоятельства обусловили актуальность задачи научного обоснования управляемого температурного режима тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне (рис. 1). В рисунке приведены следующие обозначения:  $N$  — суммарная мощность нагревателей;  $T_p$ ,  $T_{ур}$ ,  $T_{ост}$  — продолжительность периодов соответственно

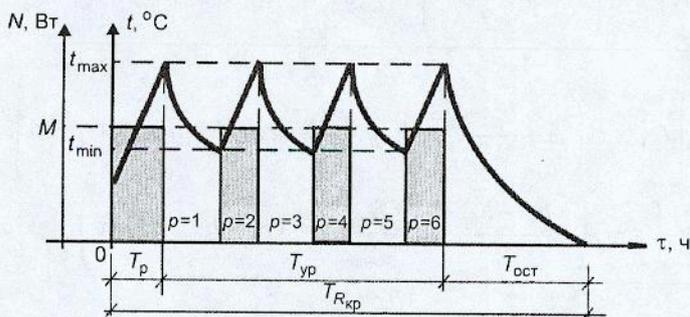


Рис. 1. Управляемый температурный режим тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне и его математическая формализация

разогрева, управляемого режима и остывания бетона;  $t_{\text{бс}}$  — температура бетонной смеси перед укладкой;  $T_{R_{\text{кр}}}$  — время набора бетоном критической прочности;  $N = M$ ,  $\tau \in T_p \wedge (\tau \in T_{\text{ур}}, p = 2k, k = 1, 2, \dots, S)$ ;  $N = 0$ ,  $(\tau \in T_{\text{ур}}, p = 2k - 1, k = 1, 2, \dots, S) \wedge \tau \in T_{\text{ост}}$ ;  $t = \psi(\tau)$ ,  $\tau \in T_{R_{\text{кр}}}$ .

В соответствии с основными элементами монолитного каркаса жилых и гражданских зданий обозначим приведенный коэффициент теплопередачи от колонны (рис. 2, а) и от диафрагмы (рис. 2, б, в) в окружающую воздушную среду соответственно  $K_{\text{пр}}^{\text{кол}}$  и  $K_{\text{пр}}^{\text{д}}$ . Тогда процесс теплообмена этих конструкций с наружным воздухом описывается классическим ГУ III рода:

*Колонны*

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_{\text{кол}} \frac{\partial t_{\text{кол}} \left( x=0, y \in \frac{B}{2}, z, \tau \right)}{\partial x} &= K_{\text{пр}}^{\text{кол}} \left[ t_{\text{кол}} \left( x=0, y \in \frac{B}{2}, z, \tau \right) - \Theta \right], \\ -\lambda_{\text{кол}} \frac{\partial t_{\text{кол}} \left( x \in A, y = \frac{B}{2}, z, \tau \right)}{\partial y} &= K_{\text{пр}}^{\text{кол}} \left[ t_{\text{кол}} \left( x \in A, y = \frac{B}{2}, z, \tau \right) - \Theta \right], \\ -\lambda_{\text{кол}} \frac{\partial t_{\text{кол}} \left( x=A, y \in \left( \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, \frac{B}{2} \right), z, \tau \right)}{\partial x} &= \\ &= K_{\text{пр}}^{\text{кол}} \left[ t_{\text{кол}} \left( x=A, y \in \left( \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, \frac{B}{2} \right), z, \tau \right) - \Theta \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

*Диафрагма*

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_{\text{д}} \frac{\partial t_{\text{д}} \left( x \in (A, A+b_{\text{д}}), y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z, \tau \right)}{\partial y} &= \\ &= K_{\text{пр}}^{\text{д}} \left[ t_{\text{д}} \left( x \in (A, A+b_{\text{д}}), y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z, \tau \right) - \Theta \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

*Проем диафрагмы*

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_{\text{д}} \frac{\partial t_{\text{д}} \left( x \in \left( A + \frac{b_{\text{д}} - b_{\text{пр}}}{2} \right), y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z = H - h_{\text{пр}}, \tau \right)}{\partial z} &= \\ &= K_{\text{пр}}^{\text{д}} \left[ t_{\text{д}} \left( x \in \left( A + \frac{b_{\text{д}} - b_{\text{пр}}}{2} \right), y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z = H - h_{\text{пр}}, \tau \right) - \Theta \right], \\ -\lambda_{\text{д}} \frac{\partial t_{\text{д}} \left( x = A + \frac{b_{\text{д}} - b_{\text{пр}}}{2}, y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z \in (H - h_{\text{пр}}, H), \tau \right)}{\partial x} &= \\ &= K_{\text{пр}}^{\text{д}} \left[ t_{\text{д}} \left( x = A + \frac{b_{\text{д}} - b_{\text{пр}}}{2}, y = \frac{\delta_{\text{д}}}{2}, z \in (H - h_{\text{пр}}, H), \tau \right) - \Theta \right]. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

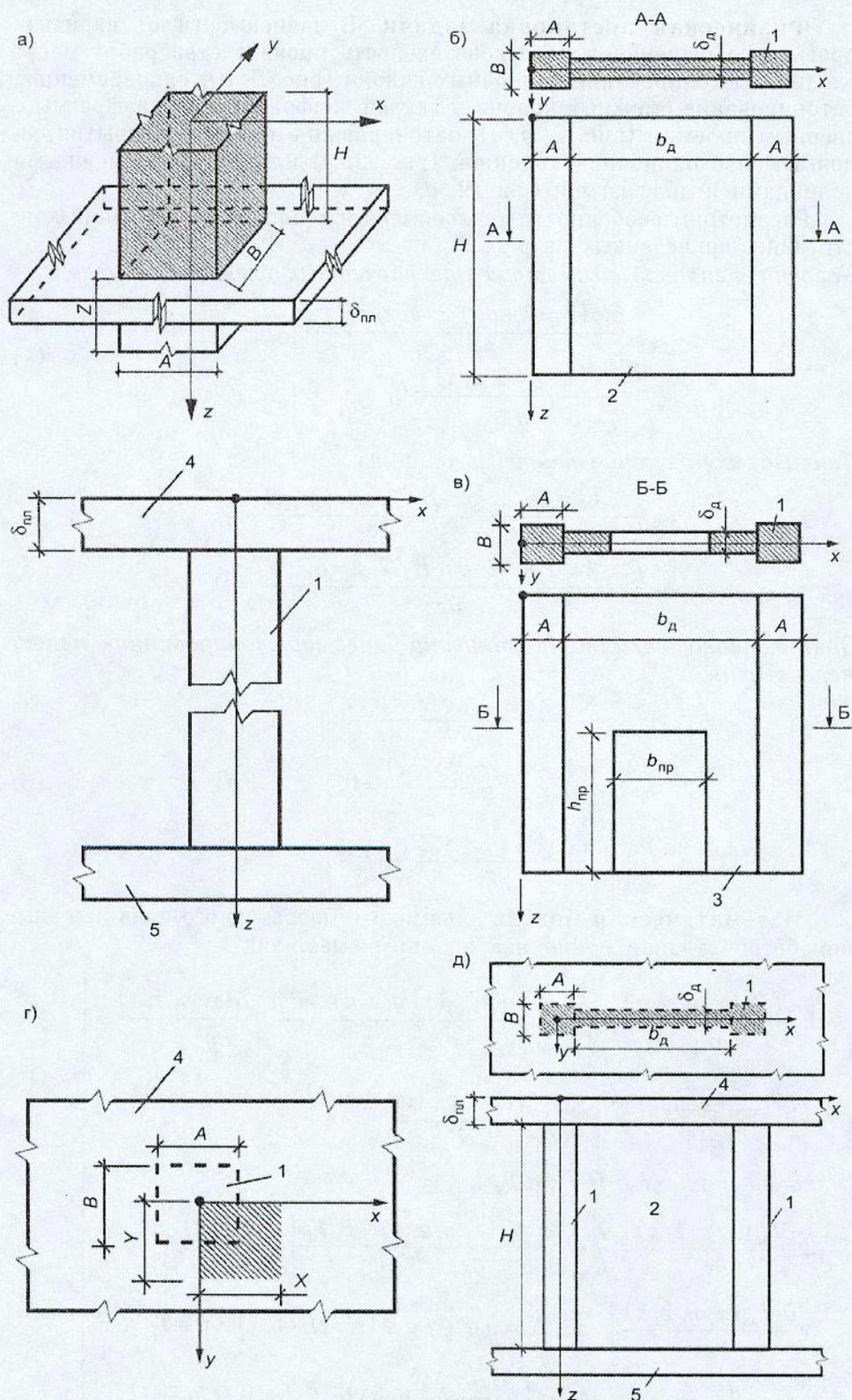


Рис. 2. Расчетные схемы бетонируемого участка одиночной колонны (а), бетонируемых синхронно двух смежных колонн с глухой диафрагмой (б), с диафрагмой с проемом (в), сопряжения бетонируемой плиты перекрытия с одиночной колонной (г), с двумя смежными колоннами и диафрагмой (д):

1 — колонна; 2 — глухая диафрагма; 3 — диафрагма с проемом; 4 — бетонируемая плита; 5 — ранее забетонированная плита

**Физическая постановка задачи.** В зависимости от варианта проектного решения в последовательность производства работ могут входить: бетонирование одиночных колонн (рис. 2, а); одновременное бетонирование смежных колонн и глухой диафрагмы или диафрагмы с дверным проемом (рис. 2, б, в); бетонирование плиты перекрытия сопрягаемой с одиночной колонной (рис. 2, г) или с двумя смежными колоннами и диафрагмой (рис. 2, д).

Рассмотрим особенности теплообмена и тепловых примыканий конструкций, приведенных на рис. 2.

*Условия тепловой симметрии для расчетных схем рис. 2, б, в:*

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_d(x=A+b_d/2, y, z, \tau)}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial t_d(x, y=0, z, \tau)}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

*Тепловое сопряжение плиты и колонны*

$$\begin{aligned} -\lambda_b \frac{\partial t_{пл}(x \in A/2, y \in B/2, z = \delta_{пл}, \tau)}{\partial z} + \\ + \lambda_b \frac{\partial t_{кол}(x \in A/2, y \in B/2, z = \delta_{пл}, \tau)}{\partial z} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

*Зона теплового влияния колонны на ранее забетонированную плиту перекрытия*

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t_{пл}(x \geq X, y, z, \tau)}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial t_{пл}(x, y \geq Y, z, \tau)}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial t_{пл}(x, y, z \geq Z, \tau)}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

**Математическая модель** динамики температурного поля при зимнем бетонировании *одиночной колонны* имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} 1. \frac{\partial t_{кол1}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_{кол1}}{C_{кол1}} \left[ \frac{\partial^2 t_{кол1}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{кол1}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 t_{кол1}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right] + \frac{\omega_{экз}(\tau)}{C_{кол1}} + \frac{q_{пр}(\tau)}{C_{кол1}} \cdot l, \\ & i \in A \wedge y \in B \wedge z \in H \wedge \tau \in T_{R_{кр}}; \\ 2. \frac{\partial t_{пл}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_{пл}}{C_{пл}} \left[ \frac{\partial^2 t_{пл}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{пл}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 t_{пл}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right], \quad x \in X \wedge y \in Y \wedge z \in (H, H + \delta_{пл}) \wedge \tau \in T_{R_{кр}}; \\ 3. \frac{\partial t_{кол2}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_{кол2}}{C_{кол2}} \left[ \frac{\partial^2 t_{кол2}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{кол2}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 t_{кол2}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right], \quad x \in A \wedge y \in B \wedge z \in (H + \delta_{пл}, H + Z) \wedge \tau \in T_{R_{кр}}; \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
4. & - \frac{\partial t_{\text{кол1}} \left( x = \frac{A}{2}, y \in B, z \in H, \tau \right)}{\partial x} = \\
& = K_{\text{пр}}^{\text{кол}} \left[ t_{\text{кол}} \left( i = \frac{A}{2}, y \in B, z \in H, \tau \right) - \Theta \right]; \\
5. & - \frac{\partial t_{\text{кол1}} \left( x \in A, y = \frac{B}{2}, z \in H, \tau \right)}{\partial y} = \\
& = K_{\text{пр}}^{\text{кол}} \left[ t_{\text{кол}} \left( i \in A, y = \frac{B}{2}, z \in H, \tau \right) - \Theta \right]; \\
6. & - \frac{\partial t_{\text{кол1}} (x \in A, y \in B, z = 0, \tau)}{\partial z} = \\
& = K_{\text{пр}}^{\text{YT}} [t_{\text{кол}} (i \in A, y \in B, z = 0, \tau) - \Theta]; \\
7. & - \lambda_{\text{кол1}} \frac{\partial t_{\text{кол1}} (x \in A, y \in B, z = H, \tau)}{\partial z} + \\
& + \lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} (x \in A, y \in B, z = H, \tau)}{\partial z} = 0; \\
8. & - \lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = H, \tau \right)}{\partial z} = \\
& = \alpha \left[ t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = H, \tau \right) - \Theta \right]; \\
9. & - \lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = H + \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} = \\
& = \alpha \left[ t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = H + \delta_{\text{пл}}, \tau \right) - \Theta \right]; \\
10. & - \lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} (x \in A, y \in B, z = H + \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} + \\
& + \lambda_{\text{кол2}} \frac{\partial t_{\text{кол2}} (x \in A, y \in B, z = H + \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} = 0; \\
11. & t_{\text{кол2}} (x \in A, y \in B, z = H + Z, \tau) = \text{const} = \Theta; \\
12. & t_{\text{пл}} (x = X, y, z \in (H, H + \delta_{\text{пл}}), \tau) = \text{const} = \Theta; \\
13. & t_{\text{пл}} (x, y = Y, z \in (H, H + \delta_{\text{пл}}), \tau) = \text{const} = \Theta; \\
14. & t_{\text{кол}} (x \in A, y \in B, z \in H, \tau = 0) = t_{\text{ос}}; \\
15. & t_{\text{пл}} (x \in X, y \in Y, z \in (H, H + \delta_{\text{пл}}), \tau = 0) = \Theta; \\
16. & \begin{cases} N = M, \tau \in T_p \wedge (\tau \in T_{\text{yp}}, p = 2k, k = 1, 2, \dots, S), \\ N = 0, (\tau \in T_{\text{yp}}, p = 2k - 1, k = 1, 2, \dots, S) \wedge \tau \in T_{\text{ост}}, \\ t = \psi(\tau), \tau \in T_{\text{Rкр}}; \end{cases}
\end{aligned}$$

(7)

$$17. \left\{ \begin{array}{l} \tau \in T_p, \left( N = M_1, \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right) \wedge \left( N = M_2, \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right); \\ \tau \in T_{\text{ост}}, \left( N = M_2, \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right) \wedge \left( N = 0, \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right); \\ N = M_1, \tau \in T_p \wedge \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right), \\ N = M_2 - \Delta M, \tau \in T_p \wedge \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right); \\ N = 0, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \left( \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right), \\ N = M_2, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \left( \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max} \right), \end{array} \right.$$

где 7.1 — дифференциальное уравнение теплопроводности бетона забетонированного участка колонны с двумя источниками тепла: объемно-распределенным источником тепла экзотермического типа и условно объемно-распределенным источником тепла от нагревательных проводов; 7.2 — дифференциальное уравнение теплопроводности бетона ранее забетонированной плиты перекрытия; 7.3 — то же, ранее забетонированной колонны, расположенной ниже плиты перекрытия; 7.4–7.13 — классические граничные условия родов I, II, III или IV; 7.14 и 7.15 — начальное условие соответственно для забетонированного участка колонны и ранее забетонированной плиты перекрытия; 7.16 — алгоритмический диспетчер управляемого температурного режима тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне; 7.17 — алгоритмический диспетчер, управляющий температурным режимом разогрева и остывания бетона в соответствии с рис. 3.

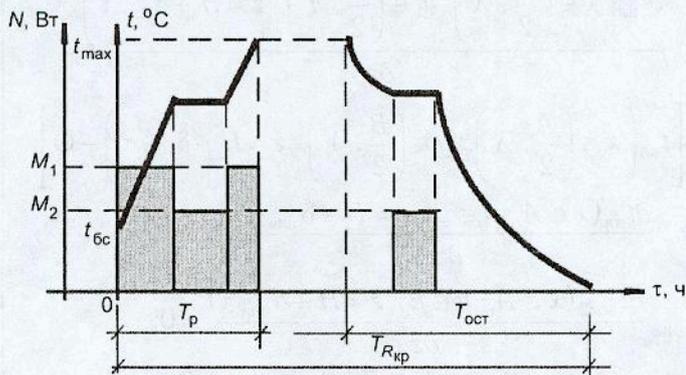


Рис. 3. Ступенчатый режим разогрева и остывания бетона

**Математическая модель** динамики температурного поля при зимнем бетонировании плиты перекрытия имеет вид:

*Примыкание к одиночной колонне*

$$1. \left. \begin{array}{l} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{\text{пл}}}{C_{\text{пл}}} \left[ \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right] + \frac{\omega_{\text{экз}}(\tau)}{C_{\text{пл}}} + \frac{q_{\text{пр}}(\tau)}{C_{\text{пл}} \cdot l}, \quad x \in X \wedge y \in Y \wedge z \in \delta_{\text{пл}} \wedge \tau \in T_{R_{\text{кр}}}; \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& 2. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} \left( x \in \frac{A}{2}, y \in \frac{B}{2}, z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} + \\
& + \lambda_{\text{кол}} \frac{\partial t_{\text{кол}} \left( x \in \frac{A}{2}, y \in \frac{B}{2}, z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} = 0; \\
& 3. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in X, y \in Y, z = 0, \tau)}{\partial z} = K_{\text{пп1}} [t_{\text{пл}}(x \in X, y \in Y, z = 0, \tau) - \Theta]; \\
& 4. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} = \\
& = K_{\text{пп2}} \left[ t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, X \right), y \in \left( \frac{B}{2}, Y \right), z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right) - \Theta \right]; \\
& 5. \frac{\partial t_{\text{пл}}(x = X, y, z, \tau)}{\partial x} = 0; \\
& 6. \frac{\partial t_{\text{пл}}(x, y = Y, z, \tau)}{\partial y} = 0; \\
& 7. t_{\text{пл}}(x \in X, y \in Y, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau = 0) = t_{\text{бс}}; \\
& 8. \left\{ \begin{array}{l} N = M, \tau \in T_p \wedge (\tau \in T_{yp}, p = 2k, k = 1, 2, \dots, S); \\ N = 0, (\tau \in T_{yp}, p = 2k - 1, k = 1, 2, \dots, S) \wedge \tau \in T_{\text{ост}}; \\ t = \psi(\tau), \tau \in T_{R_{\text{кп}}}; \end{array} \right. \\
& 9. \left\{ \begin{array}{l} \tau \in T_p, \left( N = M_1, \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right) \wedge \left( N = M_2, \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \\ \tau \in T_{\text{ост}}, \left( N = M_2, \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right) \wedge \left( N = 0, \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \\ N = M, \tau \in T_p \wedge \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \\ N = M_2, \tau \in T_p \wedge \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \\ N = 0, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \left( \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) < \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \\ N = M_2, \tau \in T_{\text{ост}} \wedge \left( \text{abs} \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right) \geq \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\text{max}} \right); \end{array} \right. \quad (8)
\end{aligned}$$

Примыкание к колонне и диафрагме

$$\begin{aligned}
& 10. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}} \left( x \in \left( \frac{A}{2}, \frac{A}{2} + \frac{b_d}{2} \right), y \in \delta_d, z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} + \\
& + \lambda_d \frac{\partial t_d \left( x \in \left( \frac{A}{2}, \frac{A}{2} + \frac{b_d}{2} \right), y \in \delta_d, z = \delta_{\text{пл}}, \tau \right)}{\partial z} = 0;
\end{aligned}$$

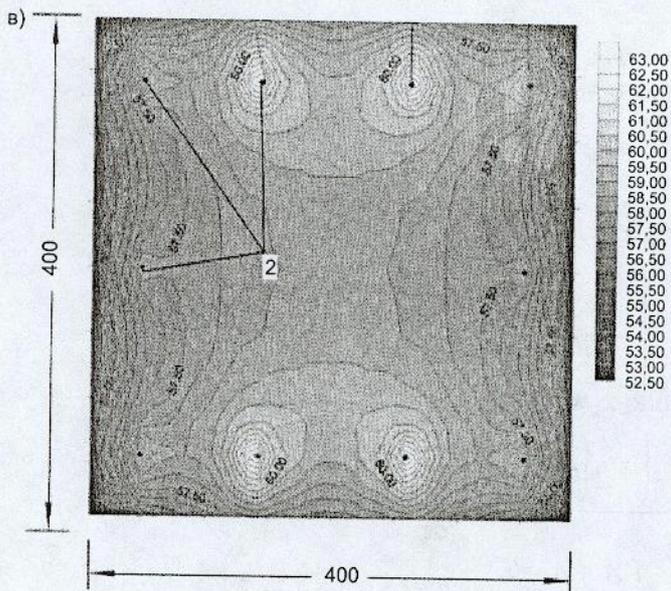
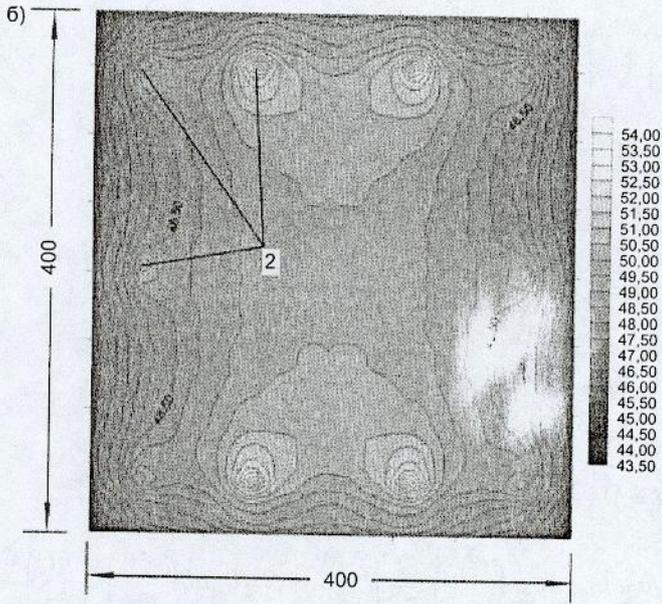
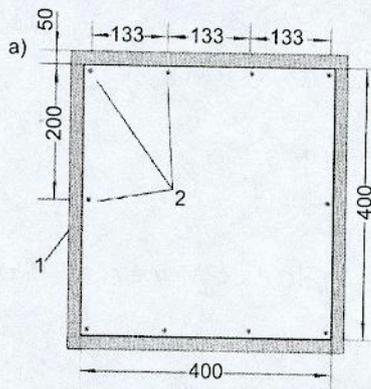


Рис. 4. Расчетная схема (а) и температурные поля в горизонтальном сечении при погонной тепловой мощности нагревателей 20 (б) и 25 (в) Вт/м:

1 — опалубка; 2 — нагревательные провода

$$11. \frac{\partial t_d(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_d}{C_d} \left[ \frac{\partial^2 t_d(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_d(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_d(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right];$$

— для глухой диафрагмы

$$x \in \left( \frac{A}{2}, \frac{A}{2} + \frac{b_d}{2} \right) \wedge y \in \delta_d \wedge z \in (\delta_{пл}, \delta_{пл} + Z) \wedge \tau \in T_{R_{кр}};$$

— для диафрагмы с проемами

$$x \in \left( \frac{A}{2}, \frac{A}{2} + \frac{b_d}{2} \right) \wedge y \in \delta_d \wedge z \in (\delta_{пл}, \delta_{пл} + (H - h_{пр})) \wedge \tau \in T_{R_{кр}}.$$

Трехмерные математические модели (7) и (8) аппроксимированы по неявной разностной схеме дробных шагов. С помощью разработанного программного продукта выполнены расчеты с целью разработки техноло-

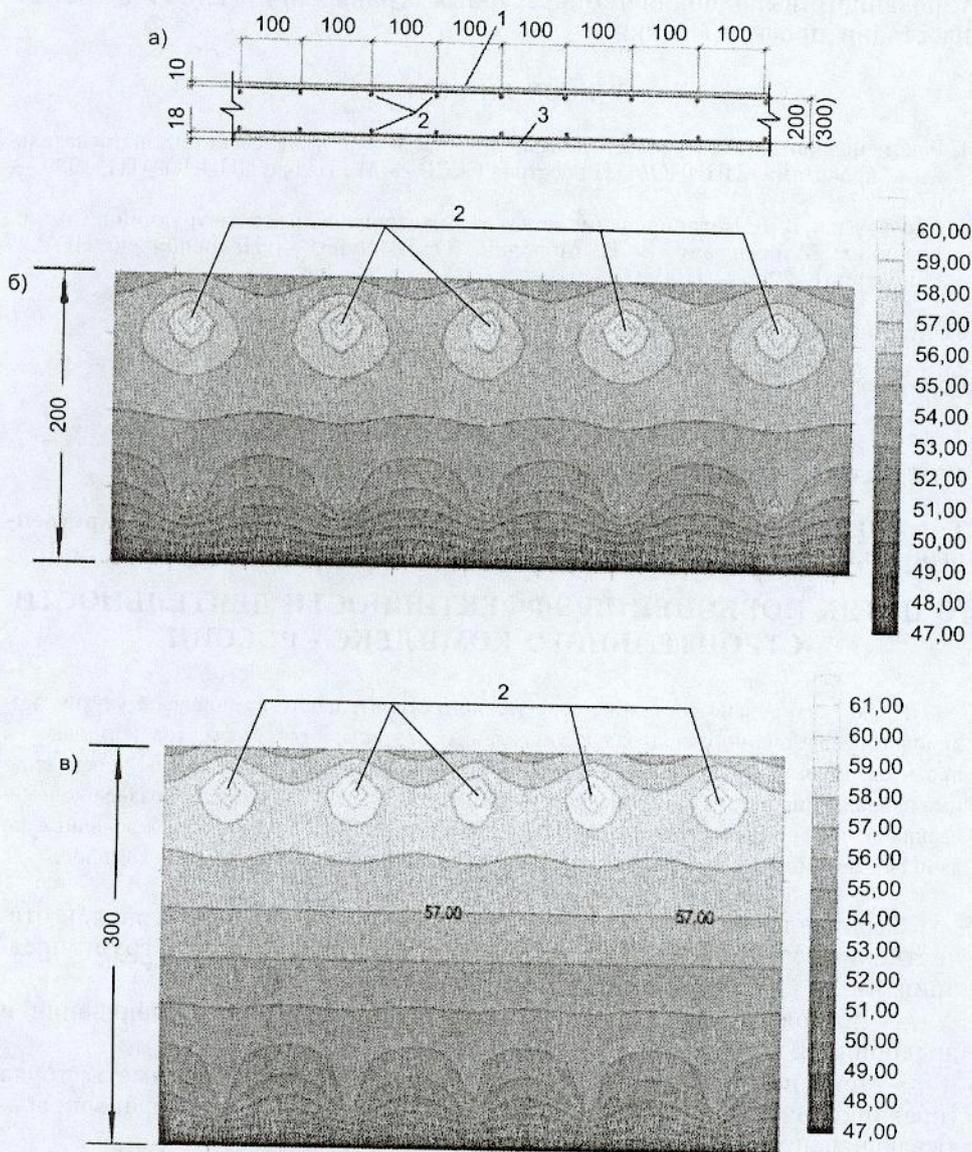


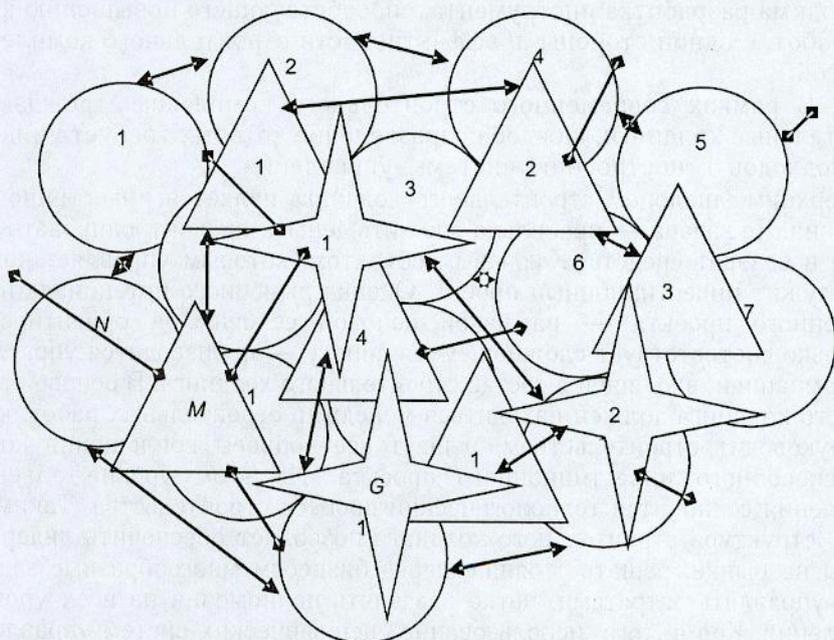
Рис. 5. Расчетная схема (а) и температурные поля в вертикальном сечении плит перекрытий 200 (б) и 300 (в) мм:

1 — утеплитель; 2 — нагревательные провода; 3 — опалубка

— предприятия инфраструктуры строительства (предприятия по ремонту машин, организации материально-технического обеспечения; специализированные транспортные предприятия; научно-исследовательские и проектные организации по строительству; учреждения по подготовке специальных кадров и т.п.);

— организации, осуществляющие управление строительством (министерства, департаменты и т.д.).

Сегодня, в России строительный комплекс — это достаточно раздробленное, слабо управляемое из единого центра, множество самостоятельно хозяйствующих субъектов, обладающих своими специфическими особенностями. По экономическому содержанию он представляет собой систему живого и овеществленного труда организаций и предприятий, обеспечивающих материализацию капитальных вложений, создание новых и модернизацию действующих основных фондов производственного и непроизводственного назначения (рисунок).



Модель взаимодействия субъектов в строительном комплексе

Структуры: 1, 2, 3... N — производственные; 1, 2, 3... M — функциональные; 1, 2, 3... G — институциональные; ↔ внутренние связи; ◆—◆ внешние

Строительный комплекс — это совокупность субъектов производственного, функционального и институционального уровней, характеризующихся экономическими, организационными, техническими и технологическими связями с различной степенью проникновения и отклика в получении конечного результата — производства строительной продукции.

Хотелось бы рассмотреть некоторые проблемы, существенно влияющие на эффективность деятельности предприятий, относящихся к современному строительному комплексу.

**1.** Если при централизованной экономике все четко представляли, что собой представляет строительный комплекс: в него входили проектные институты, строительные лаборатории, определяющие качество строительных конструкций и материалов, строительные организации, транспортные компании и прочие организации, связанные единым управлением. Сегодня такое понимание не подходит, потому что отношение между различными предприятиями и организациями носит строго экономический характер.

гического регламента на прогрев бетона электрическими нагревательными проводами [1] при возведении административного здания на пересечении улиц Свердлова — Советская в г. Новосибирске зимой 2005/2006 гг. Расчеты проведены для колонн 400×400×3100, 400×400×2600, 600×600×2600, 600×800×3100 и 600×800×2600 мм, а также для плит перекрытия толщиной 200 и 300 мм. Данные расчетов при температуре воздуха -20°C приведены на рис. 4 и 5.

При практической реализации разработанного метода прогноза температурного поля в бетоне конструкций монолитного каркаса для контроля продолжительности набора бетоном критической прочности была использована компьютерная аппроксимация номограмм ЦНИИОМТП Госстроя РФ, имеющих высокую достоверность. Аппроксимация выполнена Ю.В. Луневым [2]. Расчетами для конкретного объекта подтверждены, во-первых, существенное (до 40%) энергосбережение по сравнению с традиционным температурным режимом, во-вторых, возможность гарантированного выполнения температурных ограничений СНиП 3.03.01-87 на стадии проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М.: Изд-во ЦНИИОМТП, 1989. — 67 с.
2. Молодин В. В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях: Монография / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2006. — 300 с.

© Молодин В. В., Андриевский С. Н., Лунев Ю. В., 2007

Получено 14.02.07

УДК 69.003 : 658.387

Т. А. ШИНДИНА, канд. экон. наук, доц. (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)

### О ПУТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Проанализировано состояние современного строительного комплекса с учетом различия государственного подхода к управлению деятельностью субъектов комплекса и проектов, в рамках реализации которых они функционируют. Рассмотрены перспективные направления развития строительного комплекса, сложность и многообразие экономических аспектов и форм взаимодействия в строительстве. Сформулированы основные задачи повышения эффективности деятельности современного строительного комплекса.

Строительный комплекс — одна из наиболее важных отраслей отечественной экономики. В его составе можно выделить пять групп предприятий:

— постоянно действующие строительно-монтажные организации и предприятия строительной индустрии;

— предприятия, поставляющие для строительства предметы труда (предприятия машиностроения, металлообрабатывающая, деревообрабатывающая промышленности и т.п.);

— предприятия, поставляющие средства труда (строительное и дорожное машиностроение, производство оборудования для предприятий строительной индустрии и т.п.);

Сложность экономических аспектов строительства заключается в многообразии организационных и хозяйственных форм строительного производства, большом количестве участников, имеющих различные функциональные цели и задачи, существенной зависимости процесса строительного производства от естественных природных условий.

В рамках недостаточно развитого строительного рынка при отсутствии нормальной конкуренции не происходит выравнивания условий функционирования компаний строительного комплекса. Это определяет существенные различия в уровнях цен, обязательствах сторон и других факторах. К сожалению, данная ситуация не приводит к экономическим выгодам. Таким образом, на федеральном и особенно на региональном уровнях должна быть сформулирована новая политика, касающаяся строительного комплекса, которая определила бы, каковы взаимоотношения участников строительного комплекса как в плане экономического сотрудничества, так и в аспекте других рычагов взаимодействия. Сегодня необходима разработка инструмента, способствующего повышению качества работ, с одной стороны, и эффективности строительного комплекса, с другой.

**2.** В рамках современного строительного комплекса зарождаются строительные холдинги, каждое подразделение которых требует уникальных подходов к построению системы управления.

Верхним эшелонem строительного холдинга является инвестиционная компания. Ее задача — правильно вложить деньги, проконтролировать движение и возврат средств. Ключевым объектом, которым управляет компания, служит инвестиционный проект. Оценка рыночного потенциала инвестиционного проекта — на какой ценовой сегмент он ориентирован, насколько соответствует сложившемуся спросу — производится управляющей компанией, входящей в состав строительного холдинга. В основе строительного холдинга должен находиться менеджер строительных работ, который руководит строительством, решает все вопросы воплощения конкурентоспособного инвестиционного проекта. На этом уровне объектом управления становится технологический процесс строительства. Таким образом, структура строительного холдинга позволяет обеспечить лидерство фирмы на рынке, решать стоящие перед бизнесом многообразные задачи, гибко управлять затратами, четко разделять полномочия на всех уровнях управления. Кроме того, использование специфических систем управления в разных подразделениях холдинга дает возможность принимать решения и контролировать процесс строительства на всех его стадиях.

К сожалению, строительные холдинги не являются ядром современного строительного комплекса. Основная причина этого кроется в малочисленности подобных организаций и настороженном отношении к ним со стороны органов государственного управления строительным комплексом.

**3.** В условиях функционирования рынка возникают рыночные механизмы формирования портфеля заказов, которые можно разделить на два этапа: на вопросы, касающиеся тендера; на вопросы, касающиеся сбалансирования программы. Современным руководителям необходим инструментарий, позволяющий достаточно быстро и в достаточно ограниченных объемах информации принимать решение — стоит ли участвовать в тендере, который несет с собой не только возможную прибыль, но и определенные затраты. Стоит задача помочь руководителю сориентироваться в массе предложений подрядного рынка, с учетом конкурентоспособности компании и конкурентоспособности компаний внешнего окружения [1].

После принятия решения на базе экономического обоснования ситуации руководитель уже имеет возможность сконцентрироваться на

том, чтобы, используя базу планирования, развернуть любой план строительства объекта до «гвоздя». Распределяя объемы работ, руководитель может сказать, в какой момент потребуются большие или меньшие финансовые вложения, необходимые для реализации программы и не только конкретного объекта, но и всего портфеля заказов. Здесь решаются одновременно две задачи. С одной стороны, есть инструмент для принятия более быстрого решения участия или неучастия в тендерах, с другой, используя современные подходы к распределению объемов во времени и основываясь на определенных моментах календарного планирования, руководитель может предполагать потребности в финансовых, материальных, трудовых и прочих ресурсах. Причем он может скорректировать условия с учетом своих финансовых возможностей в целом по организации.

На сегодняшний день экономическая ситуация в стране привела к тому, что многие строительные организации решают не задачу увязки производственных заданий, а единственную проблему — проблему выжить. Гораздо меньше строительных предприятий решают проблему выживания с перспективой на развитие, справедливо полагая, что государственная политика в отношении предпринимательства не так быстро приобретает черты рационального экономического мышления. В этих условиях важное значение имеют вопросы поведения предприятия в условиях стохастической неопределенности.

4. Это вопрос ценообразования. Современные методы разработки нормативной базы, которые сейчас применяются в нормативных документах по ценообразованию, имеют достаточно высокий уровень, и корректировать эти методы, наверно, преждевременно. Система достаточно отлажена, такой нормативной базы, как в России, нет нигде в мире. Но существует определенный момент, который недостаточно проработан — это политика формирования договорной цены как основы межфирменных взаимоотношений.

**ПРИМЕР.** Итак, есть ряд заказчиков — государственные, муниципальные, региональные, заказчики, которые имеют свою полную самостоятельность (акционерные общества, частные предприниматели и т. д.). Методика, разработанная Минстроем и Госстроем России в области формирования договорной цены, носит *рекомендательный* характер. В то же время все организации, относящиеся к федеральным или муниципальным органам, считают эту методику практически *юридическим документом*, регламентирующим правила формирования договорной цены.

Поэтому сегодня необходима новая доктрина, касающаяся определения договорной цены, основанная не на нормативной базе для обсчета прямых затрат, а на основе увязки договорных расходов и плановых накоплений. Необходима модель, которая могла бы учитывать интересы, с одной стороны, заказчиков и, с другой стороны, интересы строителей.

5. В настоящее время, строительный рынок переходит на жесткую и взаимообусловленную систему производственных, хозяйственных, экономических отношений. Кризисное состояние экономики в полной мере отразилось на состоянии предприятий строительной отрасли, где наблюдалось свертывание инвестиций в условиях прогрессирующего старения и износа основных фондов.

Высокая инфляция обусловила норму процента за кредит, намного превышающую предполагаемую рентабельность большинства проектов. Это сделало недоступным среднесрочные и еще в большей мере долгосрочные кредиты. Высокий уровень налогов, введение предоплаты за продукцию стройиндустрии, взаимная задолженность предприятий по плате-

жам — все это затруднило нормальную хозяйственную деятельность предприятий стройиндустрии.

Динамика цен на ресурсы в последние пять лет такова, что труд относительно дешевеет, а материальные ресурсы (капитал) дорожают. Массовые инвестиции в строительную отрасль, в том числе государственные, — многократно опробованный западными странами инструмент стимулирования развития экономики и снижения безработицы. Он давал эффект практически во всех странах. Для России с ее снижающейся динамикой и слабой инфраструктурой это тем более актуально.

**6.** В настоящее время строители создают стоимость конечных продуктов — промышленных или гражданских объектов, необходимых бизнесу для оказания услуг или производства товаров. Покупатели объектов пользуются возможностью достичь желанного образа жизни (комфорта), платят за это, тем самым оказывая влияние на предложение со стороны строительных фирм. Таким образом, люди, вовлеченные в этот бизнес, перестают быть просто строителями и участвуют в деятельности строительного комплекса.

Итак, современное строительное производство, находясь в непрерывном развитии, сегодня представляется в состоянии, когда эффективность функционирования базируется на рациональном управлении, и в том числе:

- на развитии строительной отрасли в части разукрупнения компаний, которое дошло до того момента, когда начинают создаваться новые структуры, сочетающие в себе лучшие моменты объединений середины прошлого века, связанные с надежностью компаньонских отношений, и способствующие качеству строительной продукции;

- на формировании договорной цены на строительную продукцию с учетом интересов и заказчика, и подрядчика, основываясь на рыночных механизмах;

- на планировании производства, которое в условиях функционирования рыночной системы подталкивает к разработкам инструментов непрерывного планирования.

Вообще говоря, основные проблемы управления в строительном комплексе связаны с падением объемов создаваемой продукции, потерей традиционных рынков сбыта, недостаточной согласованностью тендерных механизмов, недостаточным количеством применяемых новых технологий, а также слабой проработкой основ организации межфирменных взаимоотношений. Для решения этих проблем необходима разработка основных положений и методологии управления договорной деятельностью в строительном комплексе на основе применения различных количественных и качественных показателей эффективности на разных стадиях строительства с учетом функциональных обязанностей предприятий участников строительных инвестиционных проектов.

Повышение эффективности деятельности должно базироваться на следующих основных моментах [2]:

- акционирование избыточных строительных мощностей, находящихся в государственной собственности;

- освоение технологий менеджмента, структурная перестройка, поиск хороших современных технологий;

- создание благоприятного инвестиционного климата в комплексе;

- повышение качества управления на предприятиях отрасли.

Можно определить некоторую модель и содержание работ по организации взаимоотношений в строительном комплексе. Эта модель применима ко всем строительно-монтажным организациям вне зависимости от их собственности.

На *начальном* этапе производится изменение организационной структуры. Формируются бизнес-процессы. А там, где есть возможность организовать производственную цепочку «сырье — производство конструкций — строительное производство — готовый продукт» (например, в типовом строительстве), создается центр финансовой ответственности, регулирующий деятельность бизнес-процессов. Это стимулирует более эффективную работу предприятия.

На *втором* этапе внимание фокусируется на повышении качества и конкурентоспособности применяемых элементов строительной системы. Рассматривается качество ведения управленческой деятельности, совершенствование технологии и качества применяемых элементов строительной системы.

На *третьем* этапе деятельность должна быть целенаправленной. Предприятию необходимо провести целеполагание, сформулировать стратегические оценки деятельности. Особое место уделяется экономике и финансам.

На *четвертом* этапе проводится аудит и сокращение затрат, берется на вооружение новая технология строительства, под нее перестраивается производство. Управленческий учет обеспечивает реальное бюджетирование производимой продукции и строительства объектов. Возникает новое видение ситуации. Если ранее планирование деятельности базировалось на предложениях по сотрудничеству, поступающих из внешней среды, то теперь проводятся маркетинговые оценки. Разрабатывается и просчитывается инвестиционная программа, считаются затраты и доходы по объектам и изделиям.

На *пятом* этапе проводится реструктуризация.

Ключевым фактором функционирования современного ядра строительного комплекса — подрядной компании в условиях постоянного протекания договорных процессов и неопределенности будущего, когда единожды налаженные связи не гарантируют дальнейшего сотрудничества и процветания, служит система, основанная на организации договорных отношений с внешней средой и планировании внутренних возможностей, через эффективное использование производственным потенциалом на основе предложенного пятиступенчатого способа регулирования деятельности.

Изучение вопросов и решение проблем, связанных с анализом форм, методов и особенностей организации эффективной деятельности компаний в условиях рыночной инфраструктуры, весьма актуально.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Е. В. Тендерные торги в строительстве. Участвовать или не участвовать / Е. В. Гусев, Т. А. Шиндина. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — 144 с.
2. Тарануха Н. Л. Управление проектно-производственной деятельностью строительных предприятий / Н. Л. Тарануха // Экономическое возрождение России. — 2004. — № 2. — С. 72–77.

© Шиндина Т. А., 2007

Получено 02.04.07

# ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.43 : 53.072.12

В. И. БУКРЕЕВ, д-р физ.-мат. наук, проф. (Институт гидродинамики СО РАН, г. Новосибирск);

В. В. ДЕГТЯРЕВ, д-р техн. наук, проф., А. В. ЧЕБОТНИКОВ, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛН НА ПРЕПЯТСТВИЯ\*

Излагается методика измерения продольного компонента силы и опрокидывающего момента, действующих на препятствие при его обтекании стационарным и нестационарным потоками в открытом канале. Методика позволяет определять осредненные и среднеквадратичные значения силы и момента, спектральные плотности и другие статистические характеристики флуктуаций. В качестве примера рассматривается обтекание препятствия в виде вертикального цилиндра.

Методика разработана в рамках программы исследования силового воздействия катастрофических волн, в частности, волн прорыва при разрушении плотины, на различные препятствия. В труднообозримом числе научных работ, посвященных обтеканию тел, имеются лишь единичные исследования силового воздействия катастрофических волн, которые, как правило, имеют вид движущегося гидравлического прыжка (бора). Отметим здесь обстоятельные опыты [1, 2]. В данной работе методика исследований излагается на примере обтекания препятствия в виде вертикального кругового цилиндра. Схема эксперимента для этого частного случая приведена на рис. 1.

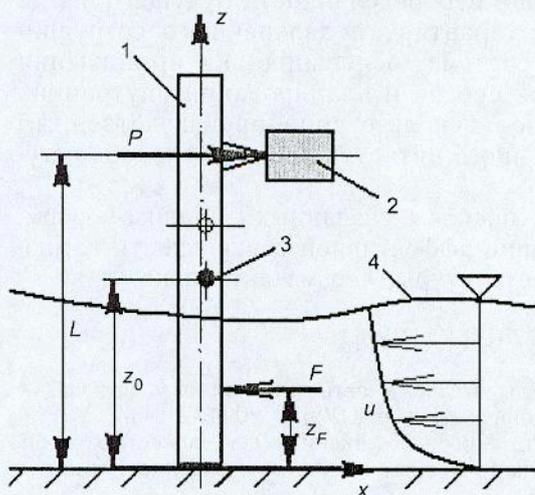


Рис. 1. Схема измерения

1 — цилиндр; 2 — датчик; 3 — ось вращения; 4 — свободная поверхность

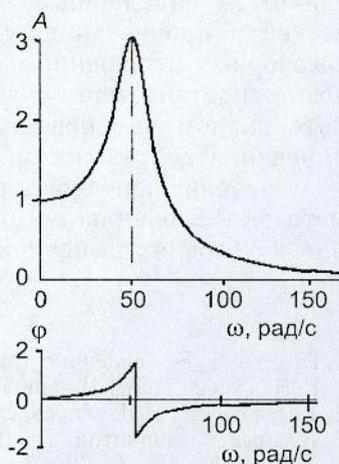


Рис. 2. Пример амплитудно-частотной (а) и фазово-частотной (б) характеристик измерительной системы

Вертикальный цилиндр 1 диаметром  $D$  подвешивался на горизонтальной оси вращения 3. Верхний конец цилиндра опирался на очень жесткий датчик 2. В конструкции подвески цилиндра предусмотрена возможность

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-01-00015) и по заданию Федерального агентства по образованию РФ (направление 2.1.2, регистрационный номер 1.3.07).

вариации расстояния  $z_0$  от нижнего конца цилиндра до оси вращения. Эта особенность подвески позволяет измерять не только величину силы  $F$ , но и вертикальную координату  $z_F$  точки приложения силы. Тем самым дает возможность вычислить опрокидывающий момент относительно нижнего конца цилиндра  $M = z_F F$ .

В обозначениях, приведенных на рис. 1, уравнение баланса моментов сил относительно оси вращения имеет вид

$$F(z_0 - z_F) = P(L - z_0). \quad (1)$$

Если провести опыты при двух значениях  $z_0$  и прочих равных условиях, то из (1) следует:

$$F = \frac{P_1(L - z_{01}) - P_2(L - z_{02})}{z_{01} - z_{02}}, \quad (2)$$

$$z_F = z_{01} - \frac{P_1}{F}(L - z_{01}). \quad (3)$$

где индексы 1 и 2 — величины в опытах 1 и 2;

$L$ ,  $z_{01}$  и  $z_{02}$  — заданные параметры;

$P_1$  и  $P_2$  — измеряемые силы.

При исследовании нестационарных процессов нужно знать частотную характеристику измерительной системы. Если статическая калибровочная характеристика такой системы линейная, то ее частотная характеристика определяется двумя параметрами: собственной частотой  $\omega_0$  и декрементом затухания  $\alpha$ . Доступны коммерческие датчики усилий (например, фирмы Honeywell) с линейной статической калибровочной характеристикой и собственной частотой порядка 100 кГц. Частотную характеристику всей измерительной системы определяет главным образом собственная частота и декремент затухания при колебаниях цилиндра в жидкости. Их значения зависят от  $z_0$ , массы цилиндра и присоединенной массы жидкости.

Частотную характеристику линейной измерительной системы можно определить следующим образом. При заданной глубине погружения нижней части цилиндра  $h$  в покоящуюся жидкость по цилиндру наносится кратковременный легкий удар, моделирующий входное воздействие в виде  $\delta$ -функции Дирака. Регистрируется реакция системы на такое воздействие  $Y(t)$ , где  $t$  — время. Для линейной динамической системы эта реакция описывается функцией [3]

$$Y(t) = a \exp(-\alpha t) \sin(t\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}), \quad (4)$$

где  $a$  — амплитуда;

$\alpha$  и  $\omega_0$  — постоянные величины.

Входной сигнал датчика вводится в компьютер. Затем сигнал аппроксимируется функцией (4), и методом наименьших квадратов определяются постоянные величины этой функции.

Частотная характеристика системы вычисляется формулой [3]

$$\Phi(i\omega) = \frac{\omega_0}{-\omega^2 + \omega_0^2 + 2i\alpha\omega}, \quad (5)$$

где  $\omega$  — круговая частота;

$i$  — мнимая единица.

Эту комплексную функцию представляют в виде двух действительных функций [3]:

$$A(\omega) = \frac{1}{((1 - \omega^2 / \omega_0^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2 / \omega_0^4)^{0.5}}, \quad \varphi(\omega) = \text{arctg} \left( \frac{2\alpha\omega}{\omega_0^2 - \omega} \right). \quad (6)$$

Функцию  $A(\omega)$  называют амплитудно-частотной, а функцию  $\varphi(\omega)$  — фазово-частотной характеристиками системы. Конкретный пример этих функций для используемой измерительной системы приведен на рис. 2. Значения определяющих параметров, а также собственной частоты и декремента затухания следующие:  $h = 9$  см;  $D = 2,5$  см;  $z_0 = 28,1$  см;  $L = 29,1$  см;  $\omega_0 = 52,6$  рад/с;  $\alpha = 4,37$  (1/с).

При измерениях на датчик действует сила  $P(t)$ , а измеряется сила  $F(t)$ . Пусть комплексное преобразование Фурье (комплексный спектр) силы  $F(t)$  есть  $S_F(i\omega)$ , а комплексный спектр силы  $P(t)$  есть  $S_P(i\omega)$ . Спектр истинной силы определяется формулой [4]

$$S_F = \frac{(L - z_0) S_P}{(z_0 - z_F) \Phi}. \quad (7)$$

Сама сила  $F$  находится по спектру  $S_F$  обратным комплексным преобразованием Фурье.

Если изучается статистически стационарный случайный процесс, например, флуктуации, обусловленные турбулентностью набегающего потока, то вместо обычных спектров используются энергетические спектры (спектральные плотности)  $SS_P(\omega)$  и  $SS_F(\omega)$  флуктуаций сил  $P$  и  $F$  соответственно. Это действительные функции действительного переменного. Для них фазово-частотная характеристика системы не имеет значения. Искомый энергетический спектр  $SS_F(\omega)$  флуктуаций силы  $F$  определяется по формулам [4]:

$$SS_P^{\text{int}}(\omega) = \frac{SS_P^{\text{ent}}(\omega)}{A^2(\omega)}; \quad SS_F = \frac{(L - z_0)^2}{(z_0 - z_F)^2} SS_P^{\text{int}}, \quad (8)$$

где  $SS_P^{\text{int}}$  и  $SS_P^{\text{ent}}$  — истинный и искаженный энергетические спектры флуктуаций силы (на входе и выходе измерительной системы).

По спектральной плотности статистически стационарного случайного процесса определяется дисперсия  $D_F$ , среднее квадратичное значение  $\sigma_F$  и коэффициент вариации  $m_F$  флуктуаций:

$$D_F = \int_0^{\infty} SS_F(\omega) d\omega; \quad \sigma_F = \sqrt{D_F}; \quad m_F = \frac{\sigma_F}{M}, \quad (9)$$

где  $M$  — среднее значение стационарного случайного процесса.

В общем случае величины  $F$  и  $z_F$  зависят от времени и восьми основных размерных параметров: ширины канала  $B$ ; осредненной по длине цилиндра скорости набегающего потока  $U$ ; диаметра цилиндра  $D$  и глубины его погружения  $h$ ; характерного масштаба изменения скорости и глубины во времени  $T$ ; ускорения свободного падения  $g$ ; плотности  $\rho$  и динамического коэффициента вязкости жидкости  $\mu$ . В соответствии с  $\pi$ -теоремой теории размерности при переходе к безразмерным величинам число параметров уменьшается до пяти. Основные независимые безразмерные параметры можно представить в «классической» форме:

$$B^0 = \frac{B}{D}, \quad h^0 = \frac{h}{D}, \quad \text{St} = \frac{T}{Uh}, \quad \text{Fr} = \frac{U^2}{gh}, \quad \text{Re} = \frac{UD}{\nu}, \quad (10)$$

где  $\nu = \mu / \rho$  — кинематический коэффициент вязкости.

Представляет интерес также множество параметров, отличающееся от множества (10) тем, что в нем вместо  $F_r$  используется комплекс

$$A_r = \frac{Re^2}{F_r} = \frac{ghD^2}{v^2}. \quad (11)$$

Он характеризует отношение гравитационных сил и сил вязкости.

С точки зрения методики проведения опытов комплекс (11) интересен тем, что не содержит скорости набегающего потока. Эта скорость остается только в параметрах  $St$  и  $Re$ , а в стационарном случае только в параметре  $Re$ . При наличии нескольких параметров опыты проводятся сериями. Желательно, чтобы в одной серии изменялась только скорость  $U$ . Если использовать множество (10), то при этом будет одновременно изменяться  $St$ ,  $Re$  и  $F_r$ , и результаты опытов будет трудно интерпретировать. Если использовать  $A_r$  вместо  $F_r$ , то в одной серии будут изменяться только  $St$  и  $Re$ , а в стационарном случае только  $Re$ .

В некоторых задачах может оказаться более оптимальным другой набор независимых безразмерных параметров. Например, при изучении силового воздействия стационарных волн вместо  $St$  удобно использовать параметр  $F_{r1} = c / \sqrt{gh}$ , где  $c$  — скорость распространения волны. Волна называется стационарной, если она распространяется с постоянной скоростью без изменения своей формы. Волны после разрушения плотины можно считать стационарными на достаточно длинном интервале времени.

Для проверки методики выполнены опыты с обтеканием цилиндра стационарным докритическим потоком в прямоугольном канале. Использовались три признака корректности методики. Во-первых, коэффициент сопротивления, определяемый формулой

$$c_x = \frac{2F}{\rho Dh U^2}, \quad (12)$$

не должен сильно отличаться от его значения при обтекании цилиндра безграничным потоком  $c_{xT}$  [5]. Коэффициент  $c_x$  должен быть только больше  $c_{xT}$ , поскольку при обтекании тела открытым потоком создается волновое сопротивление, которое в безграничной несжимаемой жидкости отсутствует. Во-вторых, в спектральной плотности флуктуаций продольной компоненты силы должна проявляться удвоенная частота срыва вихрей, образующих в определенном диапазоне чисел Рейнольдса упорядоченную вихревую дорожку Кармана [5]. В открытом канале скорость набегающего потока возрастает по вертикали. В результате точка приложения силы должна располагаться выше середины погруженной части цилиндра. Это служило третьим признаком.

Обычно статистическая обработка сигналов датчиков выполняется на компьютере. При этом осуществляется аналого-цифровое преобразование сигнала, при котором вносятся дополнительные систематические и случайные погрешности. Детальный анализ погрешностей выполнен в [4]. Здесь отметим только, что интервал дискретности по времени  $\Delta t$  при аналого-цифровом преобразовании должен удовлетворять условию:

$$\Delta t < \frac{4\pi}{\omega_{\max}},$$

где  $\omega_{\max}$  — наивысшая круговая частота в спектре изучаемой функции.

На рис. 3 приведен пример спектральной плотности флуктуаций продольного компонента силы при обтекании цилиндра стационарным потоком. Для этого примера  $D = 2,5$  см,  $U = 18,67$  см/с,  $h = 9$  см,  $Re = 4670$ .

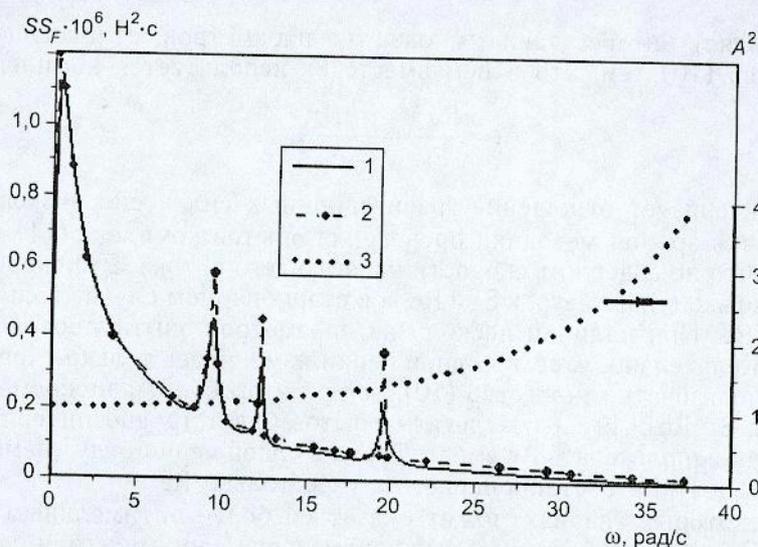


Рис. 3. Энергетический спектр  $SS_F(\omega)$  и «поправочная функция»  $A^2(\omega)$   
 1 — исправленный спектр; 2 — измеренный спектр; 3 — функция  $A^2(\omega)$

При таком числе Рейнольдса для безграничной жидкости коэффициент сопротивления  $c_{xT} = 1$ . В рассматриваемом примере получено значение  $c_x = 1,016$ . Коэффициент вариации флуктуаций силы  $F$  равнялся 0,024. Координата точки приложения силы  $z_F / h = 1,16$ , т.е. эта точка располагалась выше середины глубины погружения цилиндра.

На рис. 3 истинный энергетический спектр  $SS_F(\omega)$  показан линией 1, а спектр с частотными искажениями линией 2. График «поправочной» функции  $A^2(\omega)$ , фигурирующей в (8), показан линией 3. Можно видеть, что поправка не затрагивает основную часть спектра. Площади под кривыми 1 и 2, равные истинному и искаженному значениям  $D_F$  (см. (9)), различаются только на 0,2%. За максимальную частоту в спектре можно принять значение  $\omega_{\max} = 35$  рад/с.

Обращает на себя внимание наличие в спектре острых пиков на частотах:  $\omega_1 \cong 10,2$  рад/с,  $\omega_2 \cong 12,6$  рад/с,  $\omega_3 \cong 19,8$  рад/с. Эти пики отражают наличие упорядоченных составляющих в колебаниях силы. Пик на частоте  $\omega_3$  обусловлен вихревой дорожкой Кармана. При указанном числе Рейнольдса частота срыва таких вихрей  $n = 1,57$  Гц [5] или в единицах круговой частоты  $\omega_n = 9,87$  рад/с. Обусловленная этим фактором частота колебаний продольной компоненты силы должна равняться  $2\omega_n$ , что с хорошей точностью совпадает со значением  $\omega_3$ .

Следует отметить, что колебания поперечного компонента силы, обусловленные вихревой дорожкой Кармана, имеют частоту  $\omega_n$ . Частота  $\omega_1$  достаточно близка к этому значению. Однако поперечный компонент силы в данных опытах не измерялся. Поэтому однозначного вывода о такой природе пика на частоте  $\omega_1$  сделать нельзя.

Еще одна причина образования острых пиков в спектре заключается в генерации цилиндром косых корабельных волн. Видимо, этой причиной обусловлен пик в спектре на частоте  $\omega_2$ . Косые волны отличаются от синусоидальных. Поэтому не исключено, что они порождают также пик на частоте  $\omega_1$ . Более детальный анализ природы пиков в спектре флуктуаций силы выходит за рамки данной работы.

Таким образом, все вышеупомянутые признаки корректности методики измерений подтвердились в тестовых опытах.

На рис. 4, а, приведена зависимость продольного компонента силы  $F$  от времени  $t$  при набегании на цилиндр гидравлического прыжка высотой 2,4 см, движущегося с постоянной скоростью 72 см/с. Модуль спектра этой функции приведен на рис. 4, б. Диаметр цилиндра 2,5 см. Прыжок образовался при быстром удалении щита, который создавал перепад уровня свободной поверхности. Детальная информация о кинематических характеристиках волн при таком способе их генерации содержится в [6]. В рассматриваемом примере начальная глубина верхнего бьефа 9,7 см, нижнего бьефа 3,6 см. Скорость движения жидкости достаточно далеко за фронтом прыжка, где глубина выходит на постоянное значение,  $U = 28,8$  см/с и не изменяется по глубине.

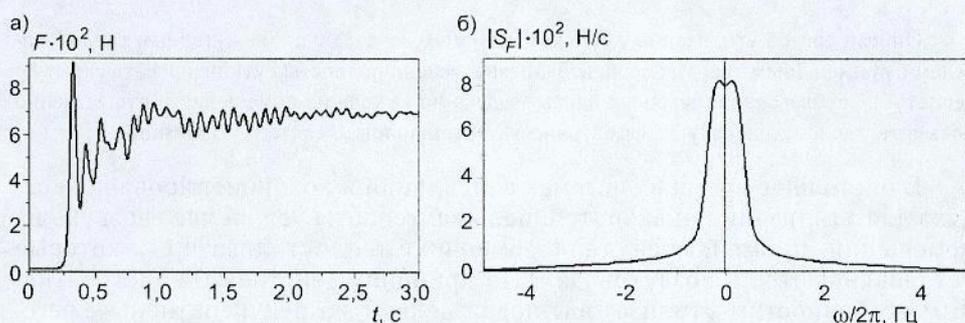


Рис. 4. Пример силового воздействия прерывной волны на цилиндр  
а —  $F(t)$ ; б — модуль спектра  $F(t)$

Данные на рис. 4 показывают, что сила достаточно быстро выходит на постоянное значение. Ее максимальное значение в 1,3 раза больше постоянного. Максимальная частота в спектре этой силы не превышает 5 Гц. Это существенно меньше собственной частоты измерительной системы  $\omega_0 / 2\pi = 8,37$  Гц, так что в данном примере частотные искажения были незначительными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Scotton Paolo. Dynamic impact of Debris flows: experimental study. Preprint/ Paolo Scotton.— Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale. Universita di Trento, 1996.— 154 p.
2. Trivellato Filippo. Bore impact upon a wall (experimental data base). Preprint/ Filippo Trivellato.— Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale; Universita Degli Studio di Trento, 2001.— 95 p.
3. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара/Я. Г. Пановко.— Л.: Машиностроение, 1976.— 320 с.
4. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных/Дж. Бендат.— М.: Мир, 1989.— 540 с.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя/Г. Шлихтинг.— М.: Наука, 1969.— 712 с.
6. Букреев В. И. Экспериментальная проверка газогидравлической аналогии на примере задачи о разрушении плотины/В. И. Букреев, А. В. Гусев, А. А. Малышева и др./Изв. РАН. МЖГ.— 2004.— № 5.— С. 143–152.

© Букреев В. И., Дегтярев В. В., Чеботников А. В., 2007

Получено 16.04.07

УДК 697.92:536.1.004.8

А. Г. АВЕРКИН, канд. техн. наук (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

## К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Описан способ утилизации теплоты удаляемого воздуха с промежуточным теплоносителем с применением твердых сорбентов, позволяющий полностью утилизировать скрытую теплоту парообразования водяных паров воздуха на выходе из помещения и существенно повысить теплотехническую эффективность традиционных систем утилизации.

В настоящее время в системах вентиляции и кондиционирования воздуха для утилизации низкопотенциальной теплоты удаляемого воздуха из помещений применяются теплообменники-теплоутилизаторы, которые устанавливаются в воздуховодах. По принципу действия и конструктивным особенностям утилизаторы подразделяют на рекуперативные, регенеративные и с промежуточным теплоносителем [1].

В утилизаторе с промежуточным теплоносителем (рис. 1) применяют два поверхностных теплообменника: один встраивают в поток удаляемого воздуха (1 — теплоизвлекающий теплообменник, т.е. теплообменник-воздухоохладитель), другой — в поток наружного воздуха; 2 — теплоотдающий теплообменник или теплообменник-воздухонагреватель). Отбор и отдача теплоты происходят за счет рециркуляции жидкости (антифриза) между данными теплообменниками, которые могут находиться на значительном расстоянии. Рециркуляция антифриза (промежуточного теплоносителя) осуществляется принудительно с помощью насоса (3).

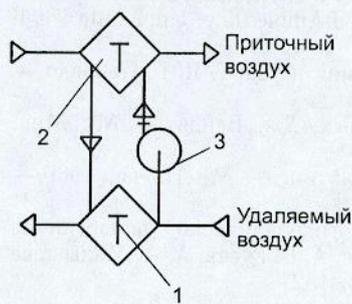


Рис. 1

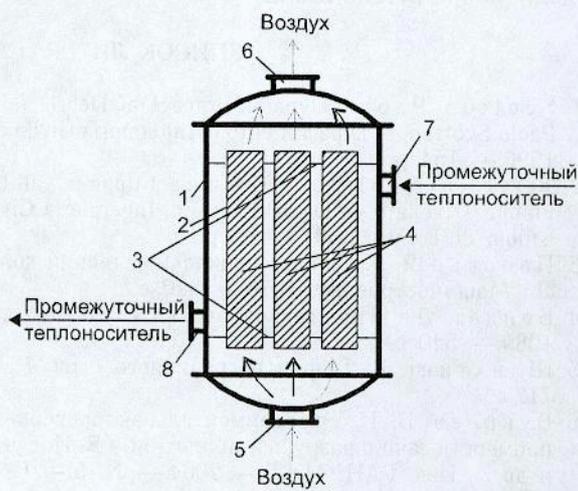


Рис. 2

Исследованиями, проведенными проф. О. Я. Кокориным [1, 2], установлено, что для российских регионов с учетом климатических условий наиболее оптимальным следует считать утилизаторы теплоты с промежуточным теплоносителем.

Одна из причин, препятствовавшая широкому применению теплоутилизаторов данного типа в нашей стране и бывшем СССР, — недостаточная проработка методических подходов по их расчету [1], где, в частно-

сти, указывается, что проведенный анализ методики, разработанной ГПИ «Сантехпроект», показал, что в ней заложена ошибочная исходная предпосылка — первоначально задаваться высокой теплотехнической эффективностью теплоизвлекающего теплообменника, при которой расчетная температура охлажденного вытяжного воздуха имеет отрицательную температуру. В условиях отрицательных температур охлажденного воздуха неизбежно замерзание выпадающего конденсата, а предложенные режимы оттайки малоэффективны. Многочисленные неудачные решения установок утилизации, запроектированных по методике ГПИ «Сантехпроект», привели к тому, что головной институт отказался в середине 1990-х гг. от ее применения в проектах.

О. Я. Кокорин [2] предложил методику по проектированию типовых систем утилизации, отличающуюся тем, что теплотехническая эффективность теплоизвлекающего теплообменника выбирается для условий отсутствия отрицательных температур как на поверхности теплообменника, так и у охлажденного удаляемого воздуха. По данной методике в качестве предельно низкой средней температуры оребренной поверхности теплоотдающего теплообменника рекомендуется принимать  $t_f = 2^\circ\text{C}$ . При этом температура осушенного и охлажденного воздуха после теплоизвлекающего теплообменника будет всегда положительна и соответствовать условию  $t_{y2} > t_f = 2^\circ\text{C}$ , т.е. практически ее нижнее значение ограничено техническими возможностями данного способа. Это обеспечивает глубокую утилизацию теплоты удаляемого воздуха, и отмечается, что все установки утилизации теплоты, запроектированные по методике автора, надежно работают в течение более 20 лет.

В то же время дополнительный анализ процесса утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем показал, что его эффективность можно существенно повысить, не ухудшая работоспособности блока утилизации даже при аномально низких температурах наружного воздуха, если отбор теплоты от удаляемого воздуха будет осуществляться не на принципе вынужденного конвективного теплообмена, а на другой основе.

Для утилизации теплоты удаляемого воздуха предлагается использовать сорбционные процессы, позволяющие утилизировать скрытую теплоту парообразования всех водяных паров в удаляемом воздухе, а не их часть, как в рассмотренных выше способах (положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2005104727/06(006054) от 6.10.2006 г.).

Известно [3], что энтальпия удаляемого воздуха определяется суммой слагаемых, представляющих явную теплоту газов (воздух + газовые примеси) и скрытую теплоту паров (в основном это водяные пары):

$$I = c_v t + (r + c_n t) \cdot d \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $I$  — энтальпия влажного воздуха, кДж/кг;

$c_v$  — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

$t$  — температура, °С;

$r$  — скрытая теплота парообразования водяных паров, кДж/кг;

$c_n$  — удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·К);

$d$  — влагосодержание, г/кг.

На долю водяных паров приходится основная часть теплоты, содержащаяся в воздухе. Разумеется, эффективность утилизации теплоты будет возрастать с увеличением степени конденсации водяных паров.

В известных установках утилизации, работа которых основана на процессе теплопередачи, полная конденсация водяных паров, содержащихся в воздухе (абсолютное осушение) возможна только при охлаждении воздуха до абсолютного нуля (на  $I$ - $d$ -диаграмме кривая полного на-

сыщения  $\phi = 100\%$  пересекает ось энтальпии  $I$  при  $t = -273^\circ\text{C}$ ) [3], что практически нереально.

Применяя сорбцию водяных паров на твердых сорбентах, среди которых наиболее предпочтителен силикагель, можно выделить скрытую теплоту парообразования всех паров в виде теплоты фазового перехода при комнатной температуре.

Технический результат достигается тем, что воздухоохладитель надеется функциями адсорбера и теплообменного аппарата (назовем его теплообменник-адсорбер). Предварительно в теплообменнике-адсорбере газовый (воздушный) поток пропускают через слой зернистого адсорбента для осушения и выделения теплоты адсорбции.

Для отвода полной теплоты адсорбции водяных паров, а также отбора явной теплоты осушенного удаляемого воздуха, в слое адсорбента располагают змеевики для циркуляции промежуточного теплоносителя, или слой адсорбента (гранулированный силикагель) располагают в трубном пространстве кожухотрубного теплообменника, а в межтрубном пространстве циркулирует промежуточный теплоноситель. Промежуточный теплоноситель, отбирая теплоту от слоя адсорбента, нагревается и передает ее в теплоотдающем теплообменнике наружному воздуху.

Типовые конструкции — трубные и полочные контактные аппараты, принцип действия которых основан на фильтрации газа через слой неподвижного гранулированного материала (катализатора), применяются при каталитической очистке газов [4].

Активацию адсорбента предлагается проводить методом вытеснительной десорбции [4]. Для обеспечения непрерывности процесса необходимо два теплообменника-адсорбера: один работает в режиме утилизации скрытой и явной теплоты воздуха, другой — в режиме активации (регенерации) сорбента.

Через слой силикагеля, подлежащего активации, пропускают удаляемый абсолютно осушенный воздух, полученный в соседнем теплоизвлекающем теплообменнике, перед выбросом его наружу в атмосферу.

Из-за наличия большой разницы парциальных давлений водяных паров в поровом пространстве адсорбента и продуваемом через него воздушном потоке молекулы воды будут интенсивно диффундировать в поток воздуха. При этом температура слоя адсорбента будет снижена, и дополнительного охлаждения силикагеля (адсорбента) не потребуются перед включением теплообменника-адсорбера в стадию осушения удаляемого воздуха.

Как видно, активация адсорбента может проводиться без затрат тепла извне.

На рис. 2 приведена схема адсорбера-воздухоохладителя; на рис. 3 представлена схема разработанного способа утилизации теплоты удаляемого воздуха с промежуточным теплоносителем и применением сорбционных процессов; на рис. 4 изображена схема обработки удаляемого воздуха на  $I-d$ -диаграмме.

Утилизация теплоты удаляемого воздуха с промежуточным теплоносителем включает следующие стадии (режимы).

**1. Стадия адсорбции водяных паров и отбора скрытой и явной теплоты удаляемого воздуха.** Удаляемый воздух из помещения направляют в адсорбер-воздухоохладитель  $I$  с помощью вентиляторов  $6, 7$ , при этом клапаны  $8, 9, 14, 15$  открыты, клапаны  $10, 11, 12, 13$  закрыты (см. рис. 3).

Работа клапанов осуществляется с помощью системы автоматики.

В адсорбере-воздухоохладителе  $I$  воздушный поток, проходя через трубное пространство, заполненное слоем адсорбента-силикагеля, осу-

шается за счет сорбции водяных паров до абсолютно сухого состояния. При этом выделяется теплота адсорбции.

Затем воздух подвергается охлаждению с отбором теплоты адсорбции и части явной теплоты с помощью промежуточного теплоносителя, поступающего в межтрубное пространство аппарата с помощью насоса 4. При этом клапан 16 открыт, клапан 17 закрыт.

Нагретый промежуточный теплоноситель поступает в поверхностный теплообменник — воздухонагреватель 3, где за счет теплопередачи отдает тепло холодному наружному воздуху и, охладившись, снова поступает в межтрубное пространство адсорбера-воздухоохладителя 1 для охлаждения воздушного потока и т.д.

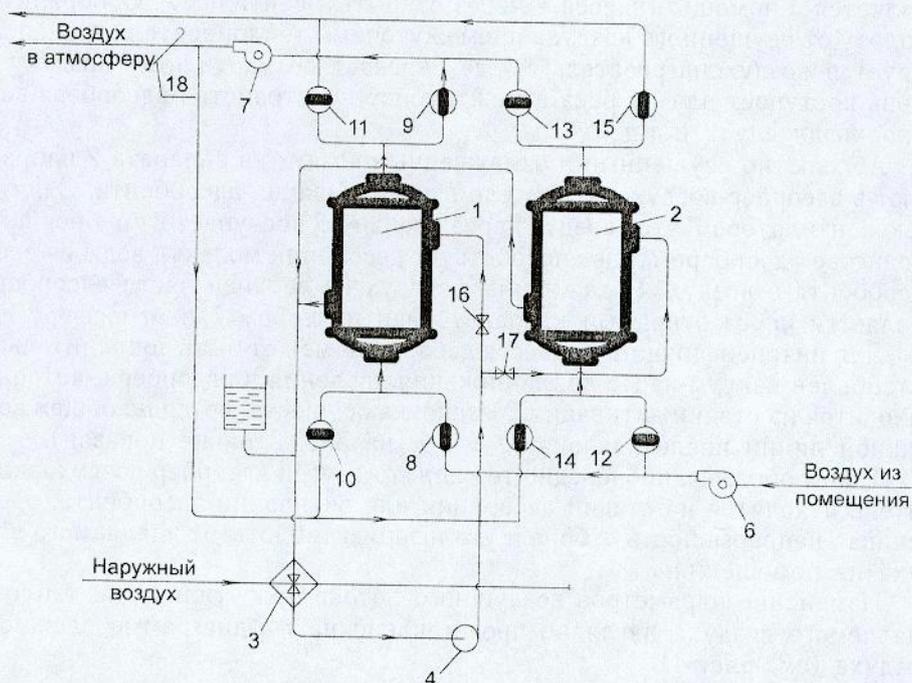


Рис. 3

**2. Стадия активации адсорбента.** Осушенный до абсолютно сухого состояния и охлажденный воздух из адсорбера-воздухоохладителя 1 с помощью вентилятора 7 направляют в адсорбер-воздухоохладитель 2, находящийся на стадии активации адсорбента (см. рис. 3).

При этом воздух проходит снизу вверх через слой адсорбента, расположенного в трубном пространстве, и вызывает десорбцию молекул воды в поток воздуха за счет разницы парциальных давлений водяного пара у поверхности капилляр силикагеля и в воздухе. Увлажненный воздушный поток из аппарата 2 через клапан 15 выбрасывается в атмосферу.

Продувку воздуха (активацию адсорбента) через слой адсорбента прекращают при достижении минимальной остаточной влажности силикагеля, контролируя, например, влагосодержание выбрасываемого воздуха. После чего клапаны 14, 15 закрывают, а шиберную задвижку 18 открывают, и осушенный воздух из адсорбера-воздухоохладителя 1 выбрасывается в атмосферу, минуя адсорбер-воздухоохладитель 2.

После достижения равновесного состояния силикагеля в адсорбере-воздухоохладителе 1 (индикатором может служить косвенно продолжительность адсорбции или влагосодержание выходящего воздуха из адсорбера) аппарат ставят на стадию активации адсорбента, а удаляемый воз-

дух из помещения направляют в адсорбер-воздухоохладитель 2 для осушения и охлаждения.

Для этого клапаны 8, 9, 14, 15 должны быть закрыты, клапаны 12, 13, 10, 11 открыты, также открывают вентиль 17 и закрывают вентиль 16 на линии промежуточного теплоносителя.

В данном цикле удаляемый воздух из помещения проходит снизу вверх слой адсорбента в адсорбере-воздухоохладителе 2 за счет работы вентиляторов 6, 7. При этом воздух осушается, выделяя теплоту адсорбции, и за счет подачи промежуточного теплоносителя в межтрубное пространство данного аппарата воздух также охлаждается.

Циркуляция промежуточного теплоносителя через аппарат 2 осуществляется с помощью насоса 4 через открытый вентиль 17. Отобранную теплоту от осушенного воздуха промежуточный теплоноситель транспортирует в воздухонагреватель 3, где передает ее наружному воздуху и вновь поступает для нагрева в межтрубное пространство адсорбера-воздухоохладителя 2 и т.д.

Абсолютно осушенный и охлажденный воздух из аппарата 2 направляют в адсорбер-воздухоохладитель 1 для активации адсорбента. С помощью вентилятора 7 этот воздух через клапан 10 поступает в трубное пространство адсорбера 1, где способствует десорбции молекул воды из слоя адсорбента в воздух. Увлажненный воздух из верхней части адсорбера удаляется через открытый клапан 11 вентилятором 7 в атмосферу.

Для интенсификации процесса десорбции может быть дополнительно установлен вакуум-насос для понижения давления в адсорбере, который находится на стадии активации. Установка осуществляется на общей воздушной линии после клапана 11 и 15 (на рис. 3 он не показан).

Таким образом, поочередно то один, то другой адсорбер-воздухоохладитель находятся на стадии адсорбции или активации адсорбента, обеспечивая непрерывность отбора и утилизацию теплоты от удаляемого воздуха из помещения.

Изменение параметров воздушного потока при утилизации теплоты удаляемого воздуха наглядно представлено на  $I-d$ -диаграмме влажного воздуха (см. рис. 4).

Здесь лучи соответствуют следующим процессам:

$У_1A$  — осушение удаляемого воздуха от начального влагосодержания  $d_{y1}$  до 0 (процесс при адсорбции водяных паров силикагелем); процесс происходит при  $I_{y1} = \text{const}$  с повышением температуры из-за выделения теплоты адсорбции [3].

$AD$  — сухое охлаждение воздуха, осуществляемое с помощью промежуточного теплоносителя при отборе теплоты адсорбции и явной теплоты воздуха;

$DY_2$  — изоэнтальпийное увлажнение воздуха; процесс осуществляется на стадии активации адсорбента при десорбции водяных паров из порового пространства силикагеля в воздух; с параметрами  $t, Y_2$  воздух выбрасывается в атмосферу;

$У_1Y_2$  — охлаждение и осушение воздуха в традиционном способе утилизации теплоты.

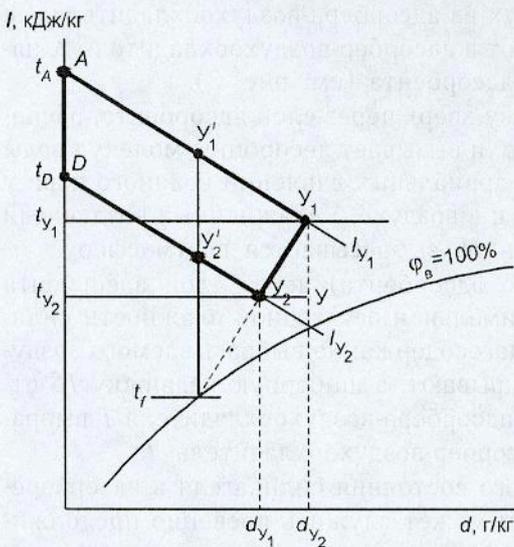


Рис. 4

Из рис. 4 видно, что количество утилизируемой теплоты (теплоты, передаваемой промежуточному теплоносителю) составляет:

а) в предлагаемом способе

$$Q_1 = Q_{\text{адс}} + Q_{\text{охл}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{адс}}$  — количество теплоты, выделяющейся при адсорбции водяных паров, т.е. при осушении воздуха, Вт (луч  $Y_1A$ );

$Q_{\text{охл}}$  — количество теплоты, отбираемое при сухом охлаждении воздуха, Вт (луч  $AD$ );

б) в традиционном способе

$$Q_2 = G \cdot (I_{Y_1} - I_{Y_2}). \quad (3)$$

Докажем, что  $Q_2 = Q_{\text{охл}}$ ;

Согласно [3], реальный процесс охлаждения и осушения воздуха (луч  $Y_1Y_2$ ) можно заменить на условно “сухой” режим охлаждения воздуха, т.е. на луч  $Y'_1Y'_2$ .

Из рис. 4 видно:  $Y'_1Y'_2 = AD$ , следовательно,

$$Q_2 = Q_{\text{охл}}. \quad (4)$$

Из сравнения (2) и (4) также имеем

$$Q_1 > Q_2, \quad Q_1 - Q_2 = Q_{\text{адс}}. \quad (5)$$

Таким образом, в предлагаемом способе количество утилизируемой теплоты больше, чем в традиционном способе с рекуперативными теплообменниками на величину теплоты адсорбции, выделяющейся при осушке воздуха.

Согласно рис. 4, приращение количества утилизированной теплоты:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_{\text{адс}} = D \cdot q_{\text{адс}} = G(d_{Y_1} - 0) \cdot 10^{-3} \cdot q_{\text{адс}} = \\ &= G \cdot d_{Y_1} \cdot 10^{-3} \cdot 2930 = 2,93 \cdot G \cdot d_{Y_1}, \text{ кВт}. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $G$  — расход удаляемого воздуха, кг/с;

$d_{Y_1}$  — влагосодержание удаляемого воздуха, г/кг;

$q_{\text{адс}}$  — удельная теплота адсорбции, кДж/кг ( $q_{\text{адс}} = 2930$  кДж/кг [3]);

$D$  — количество водяных паров, сорбируемых адсорбентом, кг/с.

К достоинству разработанного способа следует отнести возможность значительного увеличения количества утилизируемого тепла от удаляемого воздуха из помещения за счет полного отбора скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в нем на начальной стадии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О. Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции, кондиционирования воздуха (системы ВОК)/О. Я. Кокорин. — М.: Проспект, 1999. — 208 с.
2. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха/О. Я. Кокорин. — М.: Физматлит, 2003. — 272 с.
3. Богословский Б. Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение/Б. Н. Богословский, О. Я. Кокорин, Л. В. Петров. — М.: Стройиздат, 1985. — 367 с.
4. Кузнецов И. Е. Оборудование для санитарной очистки газов/И. Е. Кузнецов, К. И. Шмат, С. И. Кузнецов: Справочник. — Киев: Техника, 1989. — 304 с.

© Аверкин А. Г., 2007

Получено 06.03.07

И. И. ПОЛОСИН, д-р техн. наук, проф., С. А. ЯРЕМЕНКО, асп. (Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)

## **ВЛИЯНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЛУШИТЕЛЕЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА В СИСТЕМАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

По воздуховодам систем механической вентиляции перемещаются воздушные потоки с различной степенью запыленности. Это приводит к падению акустической эффективности глушителей шума в процессе эксплуатации. В данной работе изучено влияние площади перфорации на снижение шумопоглощения.

В последние годы все большие масштабы приобретает проектирование и строительство новых жилых домов, а также реконструкция жилых зданий старой постройки со встроенными или встроенно-пристроенными строительными объемами, которые используются в качестве помещений общественного назначения: кафе, магазины, спортивные клубы, офисы, парикмахерские, мастерские, залы игровых автоматов, медицинские центры и т.д.

При вентиляции и кондиционировании воздуха в таких помещениях применяются системы, работающие как в дневное, так и в ночное время суток и излучающие повышенный шум, который является одной из основных причин нарушения комфортного состояния человека.

В качестве основного средства борьбы с повышенными уровнями звукового давления, как правило, используются трубчатые и пластинчатые глушители аэродинамического шума.

Наличие разнообразного технологического оборудования, выделяющего пыль или масляные аэрозоли, в кафе, мастерских, магазинах, парикмахерских, а также наличие хлопковой пыли от ковровых покрытий в спортивных залах и фитнес-клубах обуславливает необходимость применения местной вытяжной вентиляции. В результате этого по воздуховодам и шумоглушителям перемещаются аэродисперсные потоки.

Надежность и эффективность работы глушителей в условиях некоторого содержания аэрозолей в воздушном потоке зависит от физико-механических характеристик частиц, параметров воздушного потока, а также конструкции звукопоглощающей облицовки.

При наличии в воздушном потоке аэрозолей с твердой фазой происходит запыление звукопоглощающей облицовки глушителя с образованием на его поверхности рыхлого слоя пылевого покрытия. Другими словами перфорация защитного покрытия забивается пылью. При наличии в воздушном потоке аэрозолей с жидкой фазой (масляный аэрозоль) частицы оседают на поверхности звукопоглощающей облицовки, и происходит проникновение масла внутрь материала, при этом покрытия на поверхности облицовки не образуется.

Таким образом, глушители аэродинамического шума в результате воздействия аэрозольных частиц могут практически полностью потерять шумопоглощающие свойства и увеличить аэродинамическое сопротивление сети, что приводит к увеличению энергозатрат и снижению производительности системы.

Известно [1], что в диапазоне частот ниже 4000 Гц негативным влиянием пылевого покрытия можно пренебречь только в случае, если его толщина удовлетворяет соотношению

$$l_n \leq \frac{5D}{\rho} \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_n}}, \quad (1)$$

где  $D$  — средний диаметр частиц пыли, см;

$\rho$  — пористость пылевого покрытия;

$\rho_m$  — плотность материала пылевой частицы, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_n$  — насыпная плотность пыли, г/см<sup>3</sup>.

Из соотношения (1) следует, что для покрытия из минеральной пыли ( $\rho_n = 0,65$  г/см<sup>3</sup>;  $\rho_m = 2,6$  г/см<sup>3</sup>;  $D = 3,9 \cdot 10^{-3}$  см) толщина пылевого покрытия  $l_n$  не должна превышать 0,46 мм.

Частицы, контактирующие с препятствием, могут налипать на него. Налипание определяется так называемыми силами адгезии, которые стремятся удержать частицы на поверхности контакта. При соударении сухой частицы с сухой поверхностью [2] из всех контактирующих частиц налипать будут только те частицы, диаметр которых составит:

$$d < d^{(0)}_{\text{МИН}} \approx 0,25 / (v \cdot 10)^8, \quad (2)$$

где  $d$  — диаметр частицы, м;

$v$  — скорость движения частицы к препятствию, м/с.

Как правило, в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, обслуживающих указанные выше встроенные или встроенно-пристроенные помещения, поверхность или частица смочены, поэтому диаметр налипающих частиц определяется по формуле [2]:

$$d^{(1)}_{\text{МИН}} \approx 7,35 / (v \cdot 10^5). \quad (3)$$

Таким образом, при скорости 5 м/с, характерной для движения воздуха в шумоглушителе, на препятствие будут налипать все частицы, диаметр которых меньше 14 мкм.

Известно [3], что масса всех частиц, контактирующих со стенкой, может быть определена из соотношения

$$m_s = k \cdot \rho_m \cdot C \cdot \tau \cdot v, \quad (4)$$

где  $\tau$  — продолжительность контакта;

$\rho_m$  — плотность материала пылевой частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  — объемная концентрация взвешенных частиц в потоке;

$k$  — безразмерный коэффициент,  $k = 10^{-4}$ ;

Расчет, выполненный по зависимости (4) для средних условий систем вентиляции ( $\rho_m = 2600$  кг/м<sup>3</sup>;  $C = 2,5 \cdot 10^{-7}$ ;  $\tau = 1$  мес =  $2,6 \cdot 10^6$  с;  $v = 5$  м/с), дает толщину слоя налипающих частиц  $\delta = 0,33$  мм/мес.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что примерно через 4 месяца эксплуатации шумоглушитель с перфорированным листом толщиной  $0,8 \div 1,2$  мм частично "забивается", и его эффективность снижается.

Величину снижения эффективности шумоглушителя можно оценить при помощи коэффициента перфорации  $f$ , т.е. отношения площади перфорации к общей площади листа [4]:

$$f = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot t^2, \quad (5)$$

где  $d$  — диаметр перфорации, мм;

$t$  — шаг перфорации,  $t = 2d$ .

Тогда  $f = \pi / 16 \approx 0,2$ .

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости эффективности пластинчатых шумоглушителей  $L$  от площади перфорации защитного покрытия. Графики подтверждают, что с понижением коэффициента перфорации (в связи с запыленностью) наблюдается небольшое повышение величины  $L$  в диапазоне частот 125...500 Гц и падение акустической эффективности шумоглушителей на частотах 63...125 и 500...8000 Гц, т.е. частотах, характеризующих работу отопительно-вентиляционного оборудования.

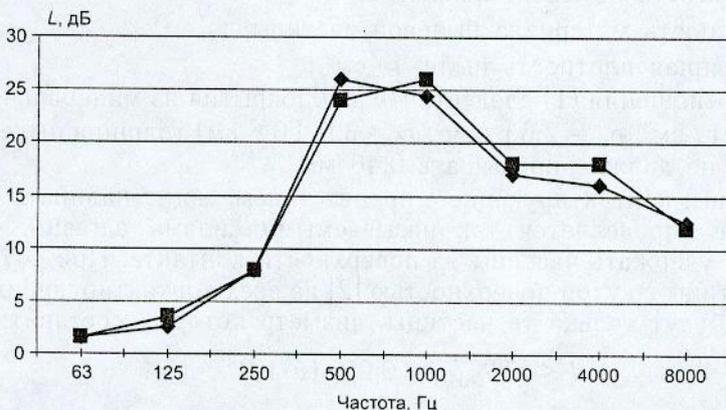


Рис. 1. Эффективность шумоглушителя в зависимости от площади перфорации защитного покрытия

—◆—  $F_{\text{перф}} = 16\%$ ; —■—  $F_{\text{перф}} = 20\%$ .

Звукопоглощающая конструкция глушителя: маты СТВ  $\rho = 20 \text{ кг/м}^3$ , стеклоткань ЭЗ-100, перфорированный металлический лист  $\delta = 0,8 \text{ мм}$

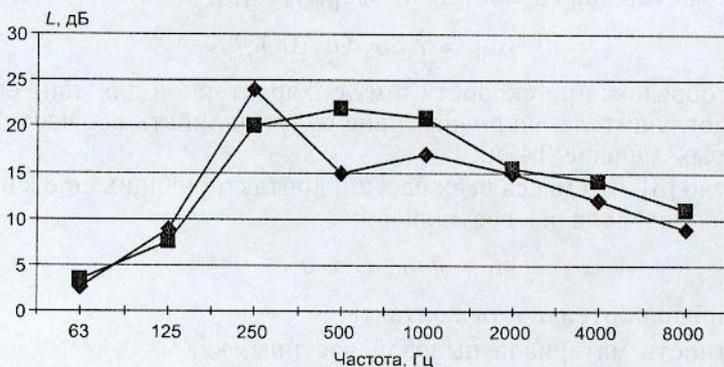


Рис. 2. Эффективность шумоглушителя в зависимости от площади перфорации защитного покрытия

—◆—  $F_{\text{перф}} = 16\%$ ; —■—  $F_{\text{перф}} = 20\%$ .

Звукопоглощающая конструкция глушителя: маты СТВ  $\rho = 15 \text{ кг/м}^3$ , стеклоткань ЭЗ-100, перфорированный металлический лист  $\delta = 0,8 \text{ мм}$

Таким образом, результаты, полученные в работе, показывают необходимость учета запыленности воздушного потока при расчете, проектировании и конструировании глушителей аэродинамического шума для систем механической вентиляции и кондиционирования воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седых В. Н. Влияние вредных факторов окружающей среды на акустическую эффективность средств шумоглушения: Сборник научных статей/В. Н. Седых, Н. Н. Воронина, Т. Н. Дубровенко // Проблемы акустической экологии: Под ред. Н. И. Иванова.— Л.: Стройиздат, 1990.— С. 160–166.

2. Боровков В. С. Аэрогидродинамика систем вентиляции и кондиционирования воздуха/В. С. Боровков, Ф. Г. Майрановски.— М.: Стройиздат, 1978.— 116 с.
3. Соу С. Гидродинамика многофазных систем/С. Соу.— М.: Мир, 1971.
4. Юдин Е. Я. Глушение шума вентиляционных установок/Е. Я. Юдин.— М.: Стройиздат, 1958.— 159 с.

© Полосин И. И., Яременко С. А., 2007

Получено 20.03.07

УДК 628.34 : 674

Г. Л. ГЕНЦЛЕР, канд. техн. наук, проф., Н. Г. ЧИСТОВА, канд. техн. наук, доц., А. В. РУБИНСКАЯ, В. Н. МАТЫГУЛИНА, аспиранты (Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОКОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведены результаты пилотных исследований по флотационной обработке производственных сточных вод деревообрабатывающих предприятий. На основании многофакторных, многоуровневых экспериментов на модельных растворах показана возможность безреагентного извлечения фенола, формальдегида и древесных волокон на дисперсионном флотаторе. Результаты подтверждены обработкой реальных сточных вод и оборотной воды. Предложена двухступенчатая флотационная обработка общезаводского стока перед сооружениями биологической очистки.

Несмотря на многолетние исследования в области очистки сточных вод деревообрабатывающих предприятий [1–4], проблема до настоящего времени остается актуальной. Это обусловлено, с одной стороны, непрерывным изменением технологии переработки древесины, приводящим к качественному изменению состава образующихся стоков, что не позволяет эффективно использовать существующие очистные сооружения; с другой — возрастающим требованием к максимальному извлечению компонентов (в первую очередь, волокон), пригодных к утилизации в основном или вспомогательных производствах. Хотя в литературе и выступлениях ряда специалистов высказывается мнение об экономической целесообразности перевода загрязнений в активный ил с последующей утилизацией избыточного ила в продукцию деревообрабатывающих предприятий, авторы считают, что извлечение волокна в неизменном виде предпочтительнее. Тем более, что работа аэротенков затрудняется наличием в стоках фенола и формальдегида, требующих предварительного их извлечения. Поэтому при решении данной проблемы особое внимание следует уделять локальной очистке стоков перед их сбросом в городскую канализацию либо стадии подготовки воды к биологической обработке. Во-первых, неизменное волокно не требует дополнительной обработки перед утилизацией. Во-вторых, извлечение волокна существенно снижает нагрузку на активный ил, сокращает затраты на биологическую очистку сточных вод (в том числе и эксплуатационные расходы, связанные с осажением волокна и необходимостью периодической очистки аэротенков). Поэтому проводимое исследование, в первую очередь, направлено на извлечение волокна на стадии подготовки воды к биологической очистке с одновременным снижением концентраций фенола и формальдегида.

Анализ литературных источников и обследование действующих предприятий показали, что флотационный метод для решения стоящей задачи наиболее предпочтителен. Однако флотаторы американской Компании "KROFTA", рекомендуемые в том числе для очистки стоков целлю-

лозно-бумажных и лесобработывающих предприятий [4], требуют предварительного качественного усреднения стоков по составу и расходу, что в условиях действующих производств соблюсти сложно, нуждаются в точном дозировании реагентов, требуют много времени на запуск и отладку процесса после остановки.

Поэтому для проведения пилотных исследований был использован отечественный дисперсионный флотатор «УНИВЕРСАЛ СМ-1» [5] производительностью от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч. Планирование трехфакторных экспериментов с тремя уровнями варьирования осуществлялось при помощи программы ATLG [5]. В качестве варьируемых параметров использовались: производительность флотатора ( $B_i$  — 6, 7, 8 м<sup>3</sup>/ч); расход воздуха ( $A_i$  — 1, 3, 5% от производительности флотатора); расход рабочей жидкости водовоздушного эжектора ( $C_i$  — 10, 15, 20% от производительности флотатора). Было проведено три серии поисковых опытов на модельных растворах, которые готовились смешиванием реальных сточных вод лесобработывающего комбината, взятых из разных выпусков. Результаты опытов представлены в табл. 1; расчетные вклады факто-

Таблица 1

Результаты поисковых пилотных экспериментов

№ серии	Фенол, мг/л			Формальдегид, мг/л			ХПК, мг О <sub>2</sub> /л			Взвешенные вещества, мг/л			рН	
	до	после	Э, %	до	после	Э, %	до	после	Э, %	до	после	Э, %	до	после
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,03	0,0001	99,70	0,248	0,017	93,15	400	229	42,75	26,0	13,0	50,00	-	-
	0,03	0,0001	99,70	0,248	0,062	75,00	400	248	38,00	26,0	4,5	82,69	-	-
	0,03	0,0008	97,33	0,248	0,05	79,84	400	239	40,25	26,0	8,0	69,23	-	-
	0,03	0,0013	95,66	0,248	0,057	77,02	400	319	20,25	26,0	7,5	71,15	-	-
	0,03	0,0045	85,00	0,248	0,066	73,38	400	119	70,25	26,0	9,5	63,46	-	-
	0,03	0,0049	83,67	0,248	0,064	74,19	400	119	70,25	26,0	8,5	67,31	-	-
	0,03	0,002	93,33	0,248	0,085	65,73	400	319	20,25	26,0	10,0	61,53	-	-
	0,03	0,011	63,33	0,248	0,072	70,97	400	279	30,25	26,0	7,0	73,8	-	-
	0,03	0,012	60,00	0,248	0,074	70,16	400	340	15,00	26,0	3,5	86,4	-	-
2	0,299	0,1196	60,00	0,395	0,082	79,24	4882	3586	26,5	2135	615	71,19	5,4	5,58
	0,299	0,195	34,78	0,395	0,052	86,84	4882	3386	30,64	2135	543	74,57	5,4	5,41
	0,299	0,137	54,18	0,395	0,08	79,75	4882	3386	30,64	2135	604	71,71	5,4	5,41
	0,299	0,175	41,47	0,395	0,115	70,89	4882	3386	30,64	2135	293	86,28	5,4	5,55
	0,299	0,155	48,16	0,395	0,104	73,67	4882	2245	54,01	2135	517	75,78	5,4	5,53
	0,299	0,193	35,45	0,395	0,106	73,16	4882	2984	38,87	2135	272	87,26	5,4	5,53
	0,299	0,129	56,86	0,395	0,096	75,70	4882	3785	22,47	2135	683	68,01	5,4	5,54
	0,299	0,129	56,86	0,395	0,118	70,13	4882	3984	18,39	2135	619	71,01	5,4	5,57
	0,299	0,143	52,17	0,395	0,119	69,87	4882	3942	19,25	2135	477	77,66	5,4	5,57
3	0,647	0,405	37,40	0,395	-	-	4882	3742	23,35	2135	502	76,49	5,4	5,28
	0,647	0,353	45,44	0,395	-	-	4882	3754	23,10	2135	473	77,85	5,4	5,20
	0,647	0,270	58,27	0,395	0,064	83,80	4882	3359	31,20	2135	450	78,92	5,4	5,12
	0,647	0,329	49,1	0,395	-	-	4882	2964	39,29	2135	422	80,23	5,4	5,03
	0,647	0,362	44,05	0,395	-	-	4882	3754	23,11	2135	372	82,58	5,4	5,02
	0,647	0,334	48,38	0,395	-	-	4882	2766	43,34	2135	452	78,83	5,4	5,0
	0,647	0,326	49,61	0,395	-	-	4882	2371	51,43	2135	228	89,32	5,4	4,93
	0,647	0,449	30,60	0,395	-	-	4882	2174	55,47	2135	239	88,81	5,4	4,93
0,647	0,346	46,52	0,395	-	-	4882	3952	19,05	2135	375	82,44	5,4	4,93	

Примечание. В местах прочерков данные отсутствуют.

Таблица 2

## Значения вкладов факторов многофакторного эксперимента

Фактор	Значения вкладов по уровням											
	Фенол			Формальдегид			ХПК			Взвешенные вещества		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A <sub>i</sub>	0,00026	0,00394	0,00826	0,03881	0,06440	0,07950	245,78443	170,32859	321,08298	1,03603	1,12899	0,83498
	0,14805	0,17454	0,13420	0,07011	0,10860	0,11084	3464,71382	41,6680	3917,7790	596,196	351,124	596,158
	0,96624	0,97597	1,05779	—	—	—	3632,5608	3150,2989	2745,4458	478,260	417,256	275,545
B <sub>i</sub>	1,08586	1,19588	0,71826	0,74545	1,14044	1,11411	0,83696	0,88774	1,27530	9,45799	9,40265	5,05545
	0,95191	0,92580	1,12229	1,06940	0,98387	0,94672	1,03562	0,90841	1,05598	0,94519	1,20261	0,85219
	0,39476	0,31838	0,34398	—	—	—	0,89563	0,98462	1,11975	0,99903	0,88864	1,11233
C <sub>i</sub>	0,32168	0,85895	1,81937	0,75925	1,16116	1,07960	1,22307	0,86466	0,911226	1,30463	0,88003	0,81535
	0,92333	1,04365	1,03302	1,02500	0,91222	1,06278	1,06247	0,92456	1,01297	1,00598	1,12857	0,86545
	1,00241	1,09985	0,89774	—	—	—	0,94640	0,99583	1,05778	0,96173	0,91834	1,11994

Примечание. Вклады расположены по сериям опытов сверху вниз (серия 1 / серия 2 / серия 3); в местах прочерков вкладов нет из-за отсутствия данных в серии.

Таблица 3

## Результаты флотационной очистки стоков и оборотной воды

Дата	Вид воды	Фенол, мг/л						Формальдегид, мг/л						ХПК, мг O <sub>2</sub> /л						Взвешенные вещества, мг/л						рН	
		до		после		Э, %		до		после		Э, %		до		после		Э, %		до		после		до	после		
		следы	отс.	100,00	0,016	0,002	87,5	194	77	60,31	34	8	76,47	6,41	6,71												
11. 09. 2006	ОС																										
14. 09. 2006	ОС	0,018	0,0012	93,33	0,089	0,046	48,31	1234	699	43,35	245	70	71,43	6,41	6,71												
	СП	0,0102	0,0095	6,8	0,101	0,079	21,78	1850	905	51,08	249	85	65,86	6,41	6,71												
	ОВ	0,147	0,006	95,92	0,147	0,058	60,54	1439	822	42,88	258	102	60,47	6,41	6,71												
18. 09. 2006	ОС	0,023	0,0056	75,65	0,076	0,021	72,36	1547	514	66,71	302	81	73,18	6,15	6,35												
	СП	0,015	0,0091	39,3	0,125	0,083	33,6	1946	854	56,12	289	94	67,47	5,98	6,14												
	ОВ	0,138	0,0045	96,74	0,136	0,049	63,97	1598	415	74,03	287	101	64,8	6,12	6,28												

Примечание. ОС — общий сброс; СП — сброс с пресса; ОВ — оборотная вода.

вышением концентрации фенола в исходном растворе с 0,03 до 0,647 уменьшается зависимость эффекта очистки от значения факторов. Вклад фактора  $A_i$  для серии 1 ( $C_{исх} = 0,03$  мг/л) при увеличении уровня варьирования с первого до третьего возрос в 31,77 раза, а для серии 3 ( $C_{исх} = 0,647$  мг/л) — лишь в 1,095 раза. С одной стороны, это подтверждает известный факт, что с уменьшением концентрации загрязнений возрастают затраты на их извлечение, с другой — показывает адекватное влияние режимных параметров дисперсионного флотатора на процесс очистки, возможность его тонкого регулирования при малых концентрациях.

Анализ экспериментальных данных и моделирование процесса очистки при помощи программы ATLG показали, что оптимальные режимы работы флотатора для различных загрязнений и даже для их исходных концентраций не совпадают, хотя эффект безреагентной одноступенчатой очистки может быть очень высок (для фенола 99,70%; для формальдегида 93,15%; для ХПК 55,47%; для взвешенных веществ 89,32%). Однако стабильность флотационного процесса и его надежность [6] недостаточно высоки, что подтверждается большими значениями статистического коэффициента вариации полученных данных (более 30%). Причем значение коэффициента вариации возрастает не только при изменении режимных параметров флотатора, но и при колебаниях исходных концентраций исследуемых загрязнений. Статистический анализ также подтвердил недостаточность одноступенчатой безреагентной флотации. В этих условиях возможны два варианта решения технологической схемы — реагентная одноступенчатая флотация либо безреагентная двухступенчатая. Недостатки реагентного решения очевидны — от повышения эксплуатационных затрат до усложнения утилизации извлеченных волокон. В связи с этим предпочтение, на наш взгляд, следует отдать двухступенчатой безреагентной флотации с соответствующей настройкой режима работы каждой из ступеней.

После проведения поисковых опытов на модельных растворах работы были продолжены на реальных стоках (общезаводской сток перед сбросом на локальные очистные сооружения и сброс с прессов отжима древесного волокна) и оборотной воде. Результаты приведены в табл. 3. Во всех опытах производительность флотатора составляла 7 м<sup>3</sup>/ч, расход воздуха 3%, расход рабочей жидкости 10% от производительности флотатора.

Как видно из табл. 3, дисперсионный флотатор обеспечил высокую степень очистки общезаводского стока и оборотной воды, что позволяет использовать его в технологии очистки производственных сточных и оборотных вод в лесотехнической промышленности.

**Выводы.** Дисперсионный флотатор является эффективным средством очистки промышленных сточных вод деревообрабатывающих предприятий.

Две ступени дисперсионных флотационных аппаратов без использования химических реагентов (коагулянтов и флокулянтов) позволяют эффективно очистить производственные стоки деревообрабатывающих предприятий перед их биологической обработкой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев Н. И. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В. Н. Самохина. — 2-е изд., перераб. — М.: Стройиздат, 1981. — 639 с.
2. Проскураков В. А. Очистка сточных вод в химической промышленности / В. А. Проскураков, Л. И. Шмидт. — Л.: Химия, 1977. — 464 с.

3. Копылов В. А. Очистка сточных вод и уплотнение осадков целлюлозно-бумажного производства/В. А. Копылов.— М.: Лесная промышленность, 1983.— 180 с.
4. Смирнов А. М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом напорной флотации/А. М. Смирнов.— Дис. ... канд. техн. наук.— СПб.: СПГТУРП, 2004.— 153 с.
5. Генцлер Г. Л. Развитие теории конструирования водоочистных флотационных аппаратов/Г. Л. Генцлер.— Новосибирск: Наука, 2004.— 318 с.
6. Генцлер Г. Л. Эжекторные системы защиты насосов в установках напорной флотации/Г. Л. Генцлер//Изв. вузов. Строительство.— 1994.— № 9–10.— С. 84–88.

© Генцлер Г. Л., Чистова Н. Г., Рубинская А. В., Матыгулина В. Н., 2007

Получено после доработки 12.03.07

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001.24

А. А. КУТУМОВ, канд. техн. наук, доц. (Рубцовский индустриальный институт, филиал Алтайского государственного технического университета);  
Д. Э. АБРАМЕНКОВ, Э. А. АБРАМЕНКОВ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

### НЕКОТОРЫЕ ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОССЕЛЬНОГО ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА НАВЕСНОГО МОЛОТА

Рассматриваются вибрационные характеристики (виброперемещение, виброскорость и виброускорение) дроссельного пневмоударного механизма с центральной воздухоподводящей трубкой.

При исследовании новых пневмоударных механизмов представляют интерес вибрационные характеристики, знания о которых необходимы при проектировании навесных машин с учетом вибрационных нагрузок, которые приходят на элементы конструкции от пневмоударного механизма.

В данной работе рассматривается дроссельный пневмоударный механизм навесного пневмомолота [1, 2] с центральной подвижной воздухоподводящей трубкой ДПУМ(Т) и энергией удара  $A = 600$  Дж. Данный механизм имеет предкамеру сетевого воздуха, средства формирования импульса ударника — камеры наддува, средства впуска — постоянно открытые дроссели, средства выпуска — каналы выпуска отработавшего воздуха. Расчетная схема представлена на рис. 1. Любое положение центральной воздухоподводящей трубки в радиальном направлении не изме-

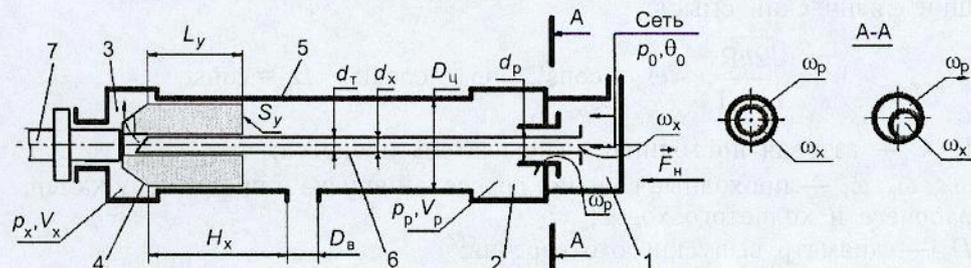


Рис. 1. Расчетная схема ДПУМ(Т)

1 — предкамера; 2 — камера рабочего хода; 3 — камера холостого хода; 4 — ударник; 5 — корпус; 6 — трубка; 7 — инструмент

няет площадь сечения дросселя впуска в камеру рабочего хода  $\omega_p$  (А-А). При математическом описании принято дополнительное допущение, не меняющее принципиальной физической картины процесса, но упрощающее ее описание: трубка в осевом положении неподвижна.

Система уравнений рабочего процесса ДПУМ(Т) с учетом [3, 4] запишется в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_n}{dt} &= \frac{k}{V_n} [W(\omega_{no}\varphi_{no} - \omega_p\varphi_p - \omega_x\varphi_x)], \\ \frac{dp_p}{dt} &= \frac{k}{V_p - x_y S_y} \left[ W(\omega_p\varphi_p - \gamma_{вр}\varphi_{ар}) + p_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{dp_x}{dt} &= \frac{k}{V_x + x_y S_y} \left[ W(\omega_x\varphi_x - \gamma_{вх}\varphi_{ах}) - p_x \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{d\theta_n}{dt} &= \frac{\theta_n}{p_n V_n} [W(\omega_{no}\varphi_{no}\Omega_{no} - \omega_p\varphi_p\Omega_p - \omega_x\varphi_x\Omega_x)], \\ \frac{d\theta_p}{dt} &= \frac{\theta_p}{p_p (V_p - x_y S_y)} \left[ W(\omega_p\varphi_p\Omega_p - \gamma_{вр}\varphi_{ар}\Omega_{ар}) + (k-1)p_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{d\theta_x}{dt} &= \frac{\theta_x}{p_x (V_x + x_y S_y)} \left[ W(\omega_x\varphi_x\Omega_x - \gamma_{вх}\varphi_{ах}\Omega_{ах}) - (k-1)p_x \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{d^2 x_y}{dt^2} &= \frac{S_y(p_x - p_p) - F_\tau}{m_y} \text{ при } x_y > 0, \\ \left( \frac{dx_y}{dt} \right)_0 &= -k_y \left( \frac{dx_y}{dt} \right)_y \text{ при } x_y < 0, \\ \frac{d^2 x_k}{dt^2} &= \frac{S_k(p_x - p_p) - F_{\tau\tau} - F_y - F_\tau - F_n}{m_k} \text{ при } x_k > 0, \\ \left( \frac{dx_k}{dt} \right)_0 &= -k_k \left( \frac{dx_k}{dt} \right)_y \text{ при } x_k \leq 0, \\ \frac{d^2 x_\tau}{dt^2} &= \frac{S_\tau(p_x - p_p) - F_{\tau\tau} - F_\tau}{m_\tau} \text{ при } x_\tau > 0, \\ \left( \frac{dx_\tau}{dt} \right)_0 &= -k_\tau \left( \frac{dx_\tau}{dt} \right)_y \text{ при } x_\tau \leq 0. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Обозначения в (1) аналогичны принятым на рис. 1 и имеют следующий физический смысл:

$$W = \sqrt{\frac{2kR}{k-1}}; \quad \omega_p = \text{const}; \quad \omega_x = \text{const}; \quad D_b = \text{const};$$

$R, k$  — газовая постоянная и показатель процесса;

$\omega_{no}, \omega_p, \omega_x$  — проходные сечения дросселей впуска в предкамеру камеры рабочего и холостого ходов;

$D_b$  — диаметр выпускного отверстия;

$p_a, p_o, p_n, p_p, p_x$  — давления воздуха в атмосфере, сети, в предкамере, в камерах рабочего и холостого ходов;

$V_n, V_p, V_x$  — объемы предкамеры, камер рабочего и холостого ходов;

$\Phi_{\text{по}}, \Phi_{\text{р}}, \Phi_{\text{х}}$  — функции впуска воздуха в предкамеру, камеру рабочего и холостого ходов;

$\Phi_{\text{ар}}, \Phi_{\text{ах}}$  — функции впуска воздуха в камеру рабочего и холостого ходов из атмосферы;

$\gamma_{\text{вр}}, \gamma_{\text{вх}}$  — функции проходных сечений каналов выпуска воздуха из камеры рабочего и холостого ходов;

$\Omega_{\text{по}}, \Omega_{\text{р}}, \Omega_{\text{х}}$  — функции расхода воздуха в зависимости от изменения температур со стороны предкамеры, камер рабочего и холостого ходов;

$\Omega_{\text{ар}}, \Omega_{\text{ах}}$  — функции расхода воздуха в зависимости от изменения температуры на выпуске в атмосферу из камер рабочего и холостого ходов;

$\theta_{\text{а}}, \theta_{\text{о}}, \theta_{\text{п}}, \theta_{\text{р}}, \theta_{\text{х}}$  — температура воздуха в атмосфере, сети, в предкамере, в камерах рабочего и холостого ходов;

$k_{\text{у}}, k_{\text{к}}, k_{\text{т}}$  — коэффициенты «отскока» ударника и корпуса от буртика инструмента и трубки от крышки корпуса, рассчитываемые как отношения скоростей после  $U_{0i} = \left(\frac{dx_i}{dt}\right)_0$  и до соударения  $U_{yi} = \left(\frac{dx_i}{dt}\right)_y$ , соответствен-

но для ударника, корпуса и трубки:  $k_{\text{у}} = \frac{U_{0\text{у}}}{U_{\text{у}}}$ ,  $k_{\text{к}} = \frac{U_{0\text{к}}}{U_{\text{к}}}$ ,  $k_{\text{т}} = \frac{U_{0\text{т}}}{U_{\text{т}}}$ ;

$F_{\text{тт}}, F_{\text{у}}, F_{\text{т}}$  — силы трения трубки о втулку корпуса, ударника о корпус и трение трубки об ударник в направлении оси перемещения корпуса;

$F_{\text{н}}$  — сила нажатия на корпус;

$x_{\text{у}}, x_{\text{к}}, x_{\text{т}}$  — перемещение ударника, корпуса и трубки;

$S_{\text{у}}, S_{\text{н}}, S_{\text{т}}$  — площади диаметральных сечений ударника, инструмента и трубки;

$S_{\text{к}} = S_{\text{у}} - S_{\text{н}}$  — площадь сечения корпуса со стороны инструмента;

$t$  — время;

$m_{\text{у}}, m_{\text{к}}, m_{\text{т}}$  — масса ударника, корпуса и трубки;

$\Phi_{\text{р}}, \Phi_{\text{х}}; \Phi_{\text{ар}}, \Phi_{\text{ах}}; \gamma_{\text{вр}}, \gamma_{\text{вх}}; \Omega_{\text{по}}; \Omega_{\text{р}}, \Omega_{\text{х}}; \Omega_{\text{ар}}, \Omega_{\text{ах}}$  — баро- и термодинамические функции впуска и выпуска, представленные в [3].

Вибрационные характеристики корпуса ДПУМ(Т) без средств виброзащиты получены из системы (1). Графические значения параметров виброперемещения, виброскорости и виброускорения при различных силах нажатия представлены на рис. 2–7. Численные значения пиковых значений приведены в таблице.

На рис. 2–4, помимо параметров вибрации, изображен график перемещения ударника. Здесь нетрудно видеть, что пиковые значения параметров вибрации совпадают по частоте с периодом работы пневмомолота.

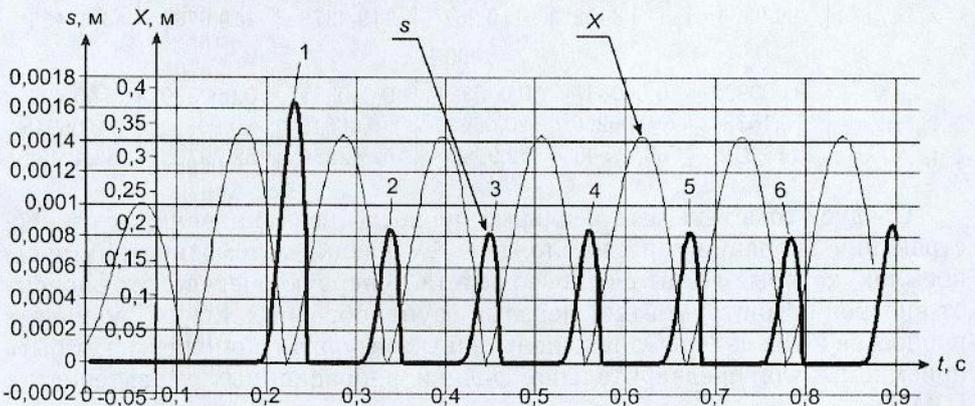


Рис. 2. Виброперемещение корпуса при  $F_{\text{н}} = 2250 \text{ Н}$   
 $s$  — виброперемещение;  $X$  — перемещение ударника

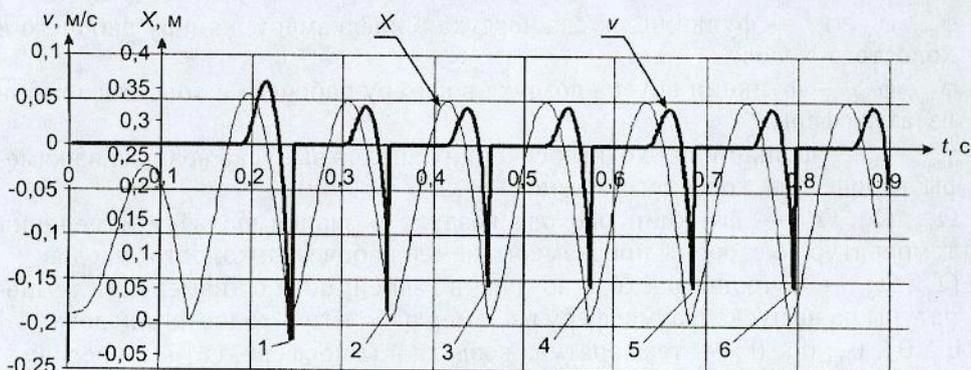


Рис. 3. Виброскорость корпуса при  $F_H = 2250$  Н  
 $v$  — виброскорость;  $X$  — перемещение ударника

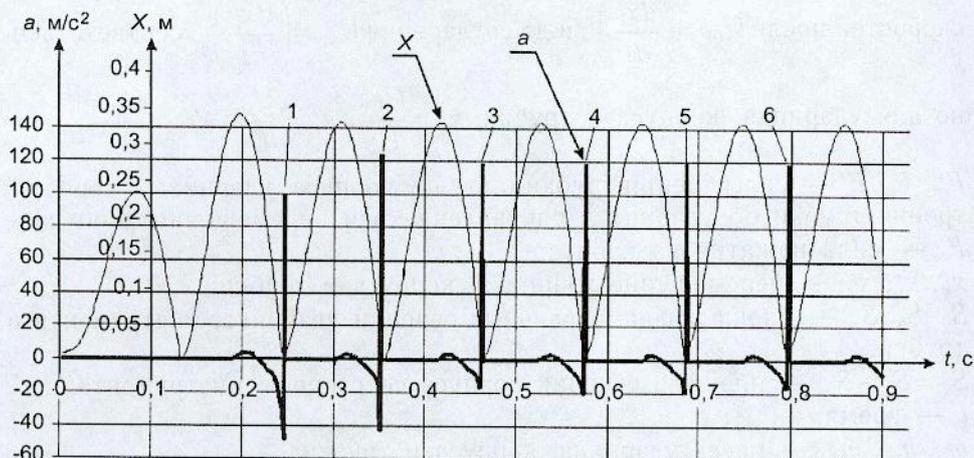


Рис. 4. Виброускорение корпуса при  $F_H = 2250$  Н  
 $a$  — виброускорение;  $X$  — перемещение ударника

### Вибрационные характеристики ДПУМ(Т)

Пиковые значения параметра	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6
$F_H = 2250$ Н						
$s_p, \text{ м}$	0,00147	0,000838	0,000818	0,000843	0,000827	0,000784
$v_p, \text{ м/с}$	-0,31742	-0,16165	-0,12926	-0,15527	-0,15528	-0,12972
$a_p, \text{ м/с}^2$	99,9366	124,3462	119,267	119,4378	119,6763	119,455
$F_H = 2400$ Н						
$s_p, \text{ м}$	0,000922	0,000347	0,000334	0,000351	0,000339	0,000318
$v_p, \text{ м/с}$	-0,15381	-0,06966	-0,06978	-0,06815	-0,06864	-0,06945
$a_p, \text{ м/с}^2$	118,312	53,58545	52,90635	52,42274	52,79795	53,42422

Следует отметить, что реальные процессы возникновения и распространения вибрации гораздо сложнее тех физико-математических предпосылок, которые лежат в основе расчета. В первую очередь, это зависит от внедрения инструмента в мерзлый грунт, обратных ударов, волновых процессов и так далее. Однако полученные результаты вполне могут быть приемлемы для предварительной оценки вибрационных характеристик ПУМ.

На рис. 5–7 представлены графические значения параметров виброперемещения, виброскорости и виброускорения при силе нажатия

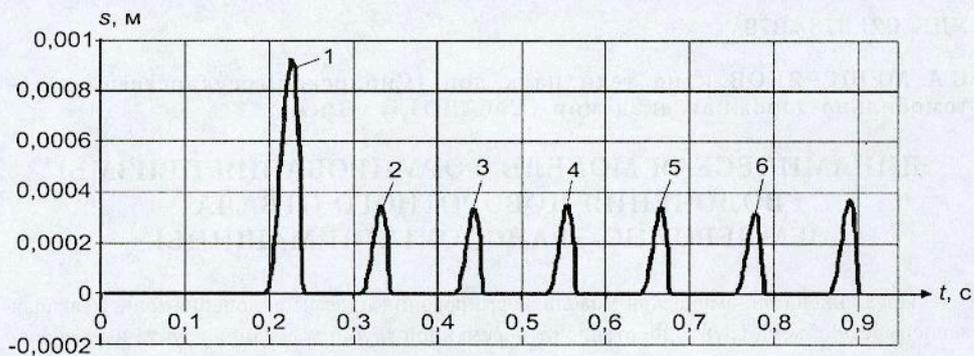


Рис. 5. Виброперемещение корпуса при  $F_H = 2400$  Н

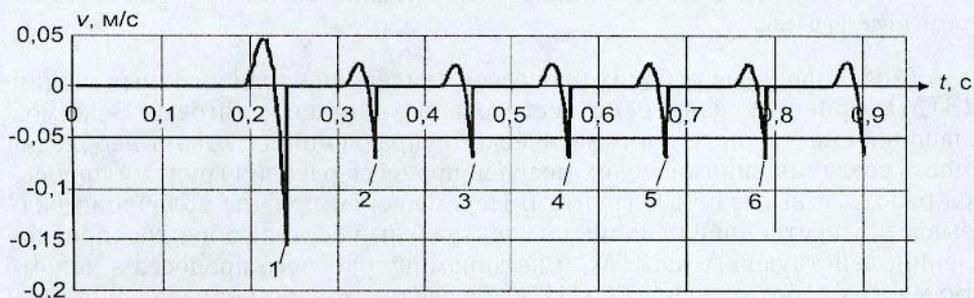


Рис. 6. Виброскорость корпуса при  $F_H = 2400$  Н

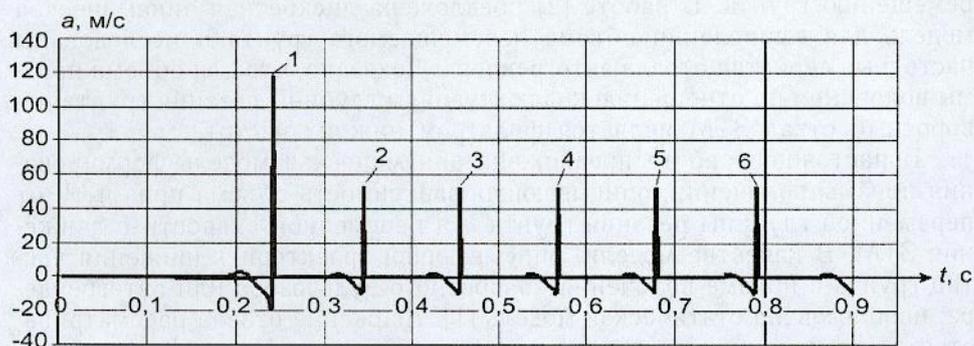


Рис. 7. Виброускорение корпуса при  $F_H = 2400$  Н

$F_H = 2400$  Н, из которых видно, что вибрация корпуса ДПУМ(Т) уменьшается.

Для сравнения можно отметить, что значения виброускорений пневмомолота ПН-1300, измеренные на рукояти, находятся в пределах 120–125 м/с<sup>2</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2062692 РФ. Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением / Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, В. Ф. Корчаков. — Оpubл. 1996; Бюл. № 8.
2. Пат. № 2256545 РФ. Пневматический молот с дроссельным воздухораспределением / Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов и др. — Оpubл. 2005; Бюл. № 20.
3. Абраменков Д. Э. Пневматический механизм ударного действия с продувкой и форсажем камеры рабочего хода / Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 9. — С. 74–82.
4. Абраменков Э. А. Типоразмерный ряд навесных пневматических молотов с дроссельным воздухораспределением для разработки мерзлых грунтов / Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов, Д. Э. Абраменков и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 11–12. — С. 78–84.

© Кутумов А. А., Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А., 2007

Получено 05.12.06

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИЗМЫ ВОЛОЧЕНИЯ ПОВОРОТНОГО ОТВАЛА ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Предложена динамическая модель формирования призмы волочения, описывающая зависимость объема грунта на отвале от переменной глубины резания грунта и от скорости машины. Получены аналитические выражения для объема призмы волочения, на их основе разработана имитационная модель в среде MATLAB/Simulink. Приведены результаты моделирования.

Моделирование рабочих процессов землеройно-транспортных машин (ЗТМ), ориентированное на исследование динамики тяговых режимов машин и синтез систем автоматического управления, вызывает необходимость создания динамических моделей процесса резания грунта и процесса работы с вырезанным грунтом. Перемещение призмы волочения оказывает существенное влияние на спектральный состав рабочих сопротивлений, действующих на ЗТМ, и на динамику рабочего процесса в целом. Во многих работах, например [1], исследованы вопросы определения массы призмы волочения и оценки средних значений сил сопротивления перемещению грунта. В работе [2] предложена дискретная динамическая модель для вычисления объема перемещаемого грунта и исследованы частотные свойства отвала автогрейдера. Доказано, что для объема призмы волочения по отношению к флуктуациям глубины резания грунта поворотный отвал ЗТМ является фильтром нижних частот.

В настоящей работе предложена динамическая модель формирования призмы волочения, описывающая зависимость объема призмы  $V$  от переменной глубины резания грунта  $h$  и переменной скорости  $v$  движения ЗТМ. В качестве модели, описывающей траекторию движения частиц грунта в призме волочения поворотного бульдозера или автогрейдера, использована статическая модель [1]. Движение отвала рассматривается в его проекции на горизонтальную плоскость (рис. 1).

В модели приняты допущения:

- отвал считается плоским;
- сечение призмы волочения в плане принято считать треугольным;

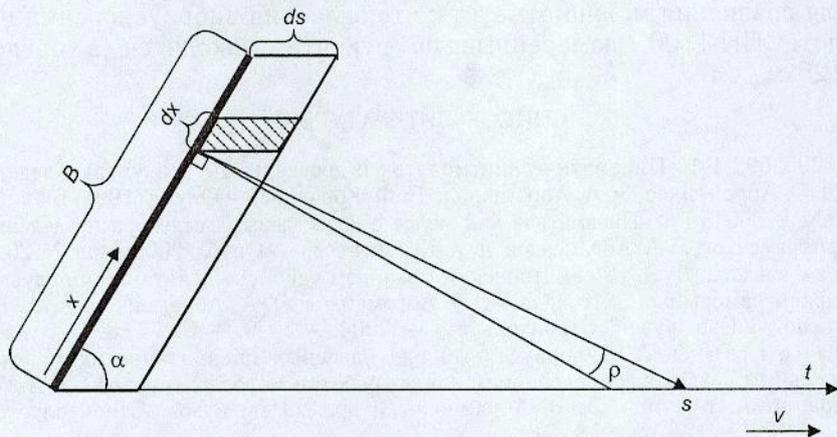


Рис. 1. Схема к определению объема призмы волочения:

$B$  — ширина отвала;  $\alpha$  — угол захвата;  $\rho$  — угол внутреннего трения грунта;  $x$  — координата длины отвала

— высота грунта  $h(t)$ , вырезаемого в момент времени  $t$ , постоянна по всей длине отвала.

Процесс формирования призмы волочения разобьем на две части: накопление на отвале вырезаемого грунта и сход грунта с отвала.

Для учета переменной глубины резания грунта  $h(t)$  и скорости машины  $v(t)$  рассмотрим накопление объема грунта за элементарный интервал времени  $dt \rightarrow 0$ . За время  $dt$  отвал проходит элементарный путь

$$ds = v(t)dt. \quad (1)$$

Элементарный объем грунта, вырезанный и накопленный на отвале за время  $dt$ :

$$dV^+ = B \sin \alpha \cdot ds \cdot h(t) = B \sin \alpha \cdot v(t)h(t)dt. \quad (2)$$

Объем грунта, накапливаемого на отвале, определяем интегрированием (2) по времени:

$$V^+(t) = B \sin \alpha \int_{t_0}^t v(t)h(t)dt. \quad (3)$$

Процесс схода грунта с отвала моделируется следующим образом. Рассмотрим движение отвала за элементарный интервал времени  $dt \rightarrow 0$ , отвал по координате  $x$  разобьем на участки элементарной длины  $dx \rightarrow 0$ . За время  $dt$  с отвала сходит элементарный объем грунта  $dV_x^-(t)$ , приходящийся на единицу длины отвала  $dx$ , накопленный отвалом время  $T$  назад:

$$dV_x^-(t) = dx \sin \alpha \cdot ds \cdot h(t) \cdot e^{-pT} = dx \sin \alpha \cdot v(t) \cdot h(t) \cdot e^{-pT} dt, \quad (4)$$

где  $e^{-pT}$  — запаздывание на время  $T$ ;

$p = \frac{d}{dt}$  — оператор дифференцирования.

Согласно [1], путь вдоль оси  $t$ , пройденный элементарной частицей грунта с момента ее захвата левым концом отвала до схода с отвала, равен

$$S = \frac{B \cos p}{\cos(\alpha + \rho)}. \quad (5)$$

Поэтому элементарный объем грунта, имеющий на отвале координату  $x$ , сойдет с отвала через время

$$T = \frac{x \cos p}{v(t) \cos(\alpha + \rho)}. \quad (6)$$

Объем грунта, который сойдет с отвала за интервал времени  $dt$ , найдем путем интегрирования (4) по координате  $x$  по всей длине отвала:

$$\begin{aligned} dV^-(t) &= \int_0^B \sin \alpha \cdot v(t) \cdot h(t) \cdot \exp(-pT) dt dx = \\ &= \frac{h(t) \sin \alpha \cdot v^2(t) \cdot dt \cos(\alpha + \rho)}{\cos p} \cdot \frac{1}{p} \left\{ 1 - \exp \left[ -p \frac{B \cos p}{v(t) \cos(\alpha + \rho)} \right] \right\} = \\ &= \frac{\sin \alpha \cos(\alpha + \rho)}{\cos p} \cdot \int_{t_0}^t h(t) \cdot v^2(t) \left\{ 1 - \exp \left[ -p \frac{B \cos p}{v(t) \cos(\alpha + \rho)} \right] \right\} dt. \end{aligned} \quad (7)$$

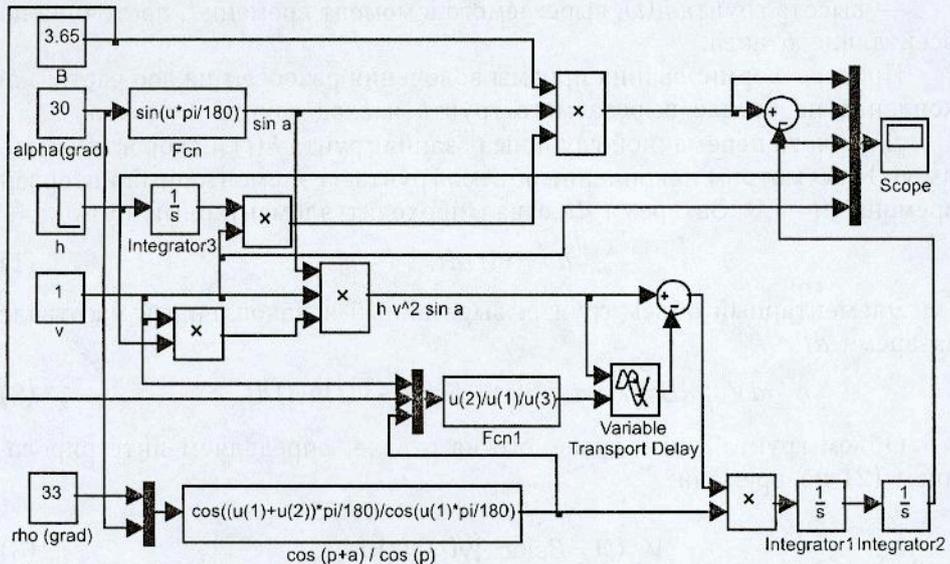


Рис. 2. Реализация модели в MATLAB/Simulink

Объем грунта, сходящего с отвала, найдем интегрированием (7) по времени:

$$V^-(t) = \frac{\sin \alpha \cos(\alpha + \rho)}{\cos \rho} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t h(t) \cdot v^2(t) \left\{ 1 - \exp \left[ -\rho \frac{B \cos \rho}{v(t) \cos(\alpha + \rho)} \right] \right\} dt dt. \quad (8)$$

С учетом накопления грунта и схода грунта с отвала объем призмы волочения составляет

$$V(t) = V^+(t) - V^-(t). \quad (9)$$

Имитационная модель MATLAB/Simulink [3], реализующая выражения (3), (8) и (9), приведена на рис. 2. Реакция модели на ступенчатое изменение глубины резания

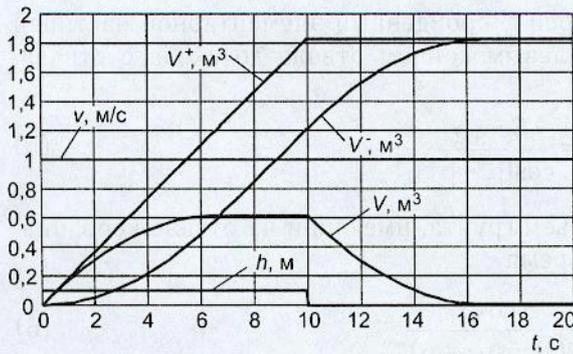


Рис. 3. Результаты моделирования

грунта  $h$  при постоянной скорости ЗТМ  $v=1$  м/с представлена на рис. 3.

Предложенная динамическая модель формирования призмы волочения используется при статистическом моделировании тяговых режимов ЗТМ, а также для оценки частотных характеристик ЗТМ как объекта управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севров К. П. Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет / К. П. Севров, Б. В. Горячко, А. А. Покровский. — М.: Машиностроение, 1970. — 192 с.
2. Амелъченко В. Ф. Учет влияния глубины резания при определении оптимального объема призмы волочения поворотного отвала / В. Ф. Амелъченко, В. П. Денисов // Изв. вузов. Строительство. — 1996. — № 9.
3. Черных И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 496 с.

© Мещеряков В. А., 2007

Получено 03.04.07

# НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.03 (44)

О. А. МАХНЕВА-БАРАБАНОВА, канд. архит., доц. (Уральская государственная архитектурно-художественная академия, г. Екатеринбург)

## АРХИТЕКТОР К.-Н. ЛЕДУ: ВОСЬМАЯ ОГРАДА ПАРИЖА

Исследуется динамика создания и частичной реализации проекта французского архитектора Леду «восьмая ограда Парижа». Обосновывается концепция дуализма творческой стратегии Леду, иллюстрируемая примером проекта восьмой ограды Парижа.

Французский архитектор К.-Н. Леду (1736–1806) являлся признанным современниками «модным» архитектором. Леду построил в Париже много элегантных особняков, большинство которых было разрушено реформами барона Османа. Самым грандиозным проектом Леду стал проект «восьмой ограды Парижа» или «стены королевских откупщиков налогов». Представители знати, взявшие в аренду у государства права на взимание пошлин, были обеспокоены ростом контрабанды и неудобствами при взимании пошлин на въезд. Поэтому архитектор откупщиков Леду получил незадолго до революции грандиозный заказ на проект стены, которая должна была опоясать город, отмечая въездные дороги павильонами для приказчиков-сборщиков податей и павильонами для наблюдения.

27 августа 1785 г. граф д'Анживийе, директор Зданий короля, проинформированный министром Калонн о проекте Леду для двух застав из пятидесяти пяти заказанных ему, написал следующее письмо: «Я встретился с месье Леду, объяснившим мне два проекта бюро Королевских откупщиков для построения на дорогах Венсан и Нейи. В целом, они мне показались очень хорошего вкуса и способными соответствовать цели, задуманной архитектором» [1]. Одиннадцать лет спустя после смерти Людовика XV Людовик XVI утверждает выбор министрами архитектора Леду. Колоссальность заказа доказывает выдающуюся роль Леду в искусстве конца Королевского строя. Еще до того, как барьеры были окончательно спроектированы, закончены и введены в строй, критика обрушивается на них, на архитектуру Леду и на самого Леду. Однако идея окружить Париж поясом застав, о чем Тюрго мечтал уже в 1775 г., соблазняет, наконец, министра Калонн. Королевские откупщики налогов инвестируют собственного архитектора Леду. В его миссию входит вести строительство проекта, который он готовил в течение примерно одного года. В конце 1786 г. южная ограда уже рассматривается как законченная; в начале 1787 г. работы начинаются на правом берегу. Пресса (подчиненная цензуре до 1789 г.) остается сдержанной на тему этого гигантского предприятия, ведущегося с поспешностью.

Но газеты, изданные за границей, дали себе волю. Об этом свидетельствует комментарий «Секретных мемуаров»: «По планам сеньора Леду, архитектора, и под его руководством строится и возвышается большая стена, что должна окружить Париж. Во всех этих отверстиях, каковые отныне станут единственными входами и единственными барьерами столицы, строят помещения для приказчиков откупщиков; они похожи на крепости своей солидностью, и, кроме того, так как сеньор Леду очень любит колонны и помещает их повсюду, он не преминул расщедриться на них и здесь; это дополняет роскошный и великолепный вид этих убежищ

разбойников. Парижане, которые должны бы возмущаться, обнаружив себя незаметно заключенными в тюрьму, и низвергнуть эту вызывающую стену, только смеются; она для них спектакль, и они забавляются постепенным ростом этого памятника рабству и деспотизму» [2].

Веселье продлится только до 1785 г., когда кассы Государства окажутся пустыми, когда постоянно меняющиеся министры должны будут управлять страной, приведенной на край нищеты сельскохозяйственным кризисом, вызванным неурожаями 1785–1789 гг.

Официально, программа стены Королевских откупщиков выглядит так: «Господин де Калонн думал, что ограда, приличествующая, кроме того, такому важному городу, как Париж, предупреждая беспорядки контрабанды и крах производств, имела еще одну цель — определить с точностью границы подлежащей обложению налогом территории, и территории, подчиненной городу, что могло бы стать препятствием для чрезмерного увеличения Парижа, и, в этой связи, выгодным действием в целях поддержания порядка, надежности, чистоты, снабжения» [2].

В 1804 г. в своем трактате Леду старается свидетельствовать за своего защитника: «Все умирает вокруг нас, ненависть, зависть, злоба; разум выживает, истина просвещает: эти две сестры идут равным шагом. Если нет согласия между страстями, предубеждениями, разум заставляет их умолкнуть, добродетель предлагает убеждению нетленную пищу. Здесь Доброе Имя выражает нетерпение, взмахивает своими крылами, гремит своими громами; оно созывает потомков. Господина де Калонн нет более; природа дала ему глубокий гений; в своих выражениях он был ясен, точен, элегантен: его сочли бы поверхностным, потому что его замыслы были просты. Хулители его административных талантов, ничтожные, не могущие понять изысканности его ума, боящиеся обширности его познаний, великие, алчущие его милостей, интриганы, страстно желающие его места, все присоединятся к непреложному закону, который будущее освятило, лишаясь права быть несправедливым» [3].

Вот, схематически, программа «Пропилей» или восьмой ограды Парижа:

— Борьба против мошенничества, ставшего уже постоянным явлением. Предусмотрено пятьдесят пять основных входов в Париж и стена трех метров в высоту, опоясывающая столицу [4].

— Стена должна была решить вопрос административных и фискальных границ Парижа. Предназначенная для определения статуса города, его отделения от окрестных деревень, стена должна была объединить максимум городского населения, но как можно меньше вторгаться на культивируемые земли и пастбища предместий. Это сельскохозяйственное пространство, необходимое для снабжения столицы, было подчинено ограничениям (поземельный налог, от которого были освобождены «парижские буржуа»). «Лишенный деревень», по выражению Леду, Париж отныне включал в себя не только предместья, но также многие сельские приходы. Тогда изменили свой статус бывшие деревни Шайо, Ле Руль, Монсо, Клиши, Монмартр, Пикпюс, Менильмонтан, Ля Виллетт, Вожирар, Грос-Кайю.

— Стена решает вопрос контроля движения по снабжению Парижа и сдерживания его обитателей на отведенной территории, это значило также наблюдение за населением. Эта функция ограды особенно плохо воспринята парижанами, проникутymi духом Фронды.

— Стена призвана решить также вопрос градостроительной экологии, упорядочить транспортную циркуляцию, предоставить жителям города удобные места для прогулок. Леду, последователь просветителей, мог и должен был руководствоваться определением города, представленным в Энциклопедии. Статья Город: «Это замкнутая стеновая ограда, ук-

рывающая множество кварталов, улиц, общественных площадей и других зданий». «Чтобы город был красив, нужно, чтобы главные улицы вели к воротам» [4].

Итак, Леду желает, чтобы город был красив. Ложье посвящает в своем «Эссе об архитектуре» целую главу заботе об украшении города. Писатели и среди них Вольтер, Монтескье, Руссо, Рестиф, Луве, Мерсье, единодушно «оплакивают» отвратительные условия на подступах к Парижу: «В своих мечтах большинство путешественников, входящих в Париж в первый раз, горячо желают увидеть феерическое зрелище столицы. Однако в основном они быстро разочаровываются. Во входе в столицу нет ничего великолепного, ничего радостного. Напротив, вновь прибывший видит неопрятный сброд, узкие и дурно пахнущие улочки. Вспоминается удивление Кандида — он...вошел в предместье Сен-Марсо и ему показалось, что он в самой ничтожной деревеньке Вестфалии, и удивление Бабу, который въехал в этот безмерный город через старинный вход, совершенно варварский, безвкусная грубость которого оскорбляла взор» [4]. Леду создает некую социальную программу, учитывая в составе нового сооружения даже «кабачки», связанные с самой локализацией «ворот» Парижа [5]. Эти кабачки должны стать местами для отдыха и заключения сделок, предоставляя гражданам возможность очиститься также от пагубного пристрастия к пьянству, благодаря архитектурному урегулированию привычной среды. Архитектор предписывает для излечения от порока архитектурные средства.

У замечательного архитектора Леду еще раз появилась возможность показать себя, и Леду был уверен в своей способности создать великолепные строения в самый короткий срок. Отставка Леду (23 мая 1789 г.) от должности архитектора «восьмой ограды Парижа» и отмена права на пошлину (1 мая 1791 г.) — вот перипетии, сопутствующие событиям, прямо связанным с 14 июля 1789 года и французской революцией. Против Бастилии и Пропилей велось одно и то же сражение... Ограда Парижа была почти окончена к моменту отставки Калонна. Новый министр, архиепископ Тулузы Ломени де Бриенн не пересматривает вопрос возведения ограды и павильонов; однако в июле 1787 г. он поручает новому главному приказчику откупщиков налогов Дуэ де ла Буллайе, наследующему Колонна, предусмотреть серьезные сокращения расходов и ревизию хода работ: недостроенные павильоны правого берега будут окончены, но внутренние украшения не будут осуществляться, кроме тех случаев, когда приемщики или служащие, обитающие там, соглашаются принять расходы на себя. Экономия, оцененная в восемьсот семьдесят три тысячи ливров сокращения бюджета, скоро признается недостаточной, и на заседании Совета от 7 сентября 1787 г. решено было вновь рассмотреть планы, сметы и договоры, и это — знак неодобрения властью роскоши задуманного и уже частично исполненного проекта. Заключение доклада неблагоприятны для Леду: архитектор должен вновь передать все свои бумаги в экспертную комиссию, состоящую из троих знаменитых его собратьев: Антуана — автора Монетного двора, Рэмона — протезе Ломени де Бриенна и Перара де Монтрейль.

25 ноября 1787 г. решение Совета «предписывает немедленную остановку работ по ограде Парижа, расписывает все действия, вплоть до продолжения строительства и поручает сеньорам Азону — главному интенданту Зданий короля и Бребиону — генеральному контролеру указанных зданий при участии господ Антуана и Рэмона управление работами и продолжение всех операций, имеющих отношение к ограде Парижа» [5]. Работы в действительности продолжают в течение всего 1788 г. Леду был вынужден сносить сотрудничество с новой командой, особенно Рэмо-

ном, его давним соперником в Экс-ан-Провансе, и Пераром де Монтрейль, желавшим ограничить слишком серьезные расходы.

Тогда как ограда левого берега была действующей с конца 1785 г., несмотря на некоторые завершающие работы, правый берег смог служить по назначению, только начиная с осени 1788 г., и то частично между Сеной и Руль (в настоящее время площадь Трините). Другие барьеры будут ожидать начала эксплуатации вплоть до 1790 г., тогда как некоторые незавершенные или строящиеся павильоны начнут функционировать, будучи недостроенными. Последние барьеры больше всего пострадали от сокращения архитектурной программы. Дальнейшие события скоро привели к полному устранению Леду со сцены. Новые реформаторские задумки Ломени де Бриенна сталкиваются с противодействием Парламента и Ассамблеи почетных граждан. Накапливается недовольство, и министры, стремящиеся разрешить кризис, сменяют друг друга. «Волнение усиливается, разжигаемое торговой и военной знатью, опирающейся на народное недовольство» [5].

26 августа 1788 г. Некер поднимает вопрос Барьеров, начиная свой второй министерский срок. Было решено, в согласии с архитектором Антуаном, что строительство продолжится, чтобы окончательно завершиться 1 октября 1789 г. По приказу, датированному 23 мая 1789 г., Антуан полностью заменяет Леду во всем, что касается постройки. Отстранение отныне полное, несмотря на энергичные протесты и возмущенные жалобы архитектора Королевских откупщиков.

Сорок восемь дней спустя после даты этой окончательной немилости, барьеры Леду стали театром серьезных повстанческих выступлений. Накануне взятия Бастилии 10, 11, 12 и 13 июля 1789 г. завязывается множество бунтов, начатых виноградарями, кабатчиками и мелкими торговцами, приведенными в ярость налоговыми реформами; они грабят и жгут барьеры. Эти события обусловили серьезную задержку в работах, но 4 октября 1789 г. было принято новое решение Совета об окончании функционирования барьеров, утверждающее Антуана в роли директора строительства. Восемнадцать испорченных барьеров левого берега и пятнадцать правого должны быть отреставрированы: «Эта относительно незначительная пропорция объясняется тем фактом, что к этому времени (июль 1789 г.), пятнадцать бюро, расположенных между дорогой Монмартр и барьером Трона и пятью последними заставами (заставы улицы Пикпюс, улицы де Рейи, застава дороги Шарантон, улицы Берси и де Ла Рапе) были далеки от завершения и заселения, и, следовательно, менее притягательны для бунтовщиков» [5].

Постоянная атмосфера мятежа как бы стимулировала контрабанду и новые уловки для укрытия транзита некоторых товаров от налоговых контролеров. Решение, принятое национальной ассамблеей об остановке строительства застав, начиная с 1 мая 1791 г., сделало барьеры Леду бесполезными в качестве пунктов взимания пошлины. Большое их количество сдавалось частным лицам до того, как закон от 23 марта 1793 г. превращает их в посты Национальной гвардии. С тех пор интерес к монументальным сооружениям Леду возрастает. Декрет от 13 Мессидора II года, если бы он был применен, мог бы легализовать их «патриотический» характер: «Национальные здания, обозначаемые обычно именем Застав Парижа, возведены в ранг общественных сооружений. Различные периоды революции и победы, одержанные армиями Республики над тиранами, пусть беспрестанно увековечиваются здесь в бронзе. Комитет Общественного Спасения уполномочен принимать все меры для быстрого исполнения настоящего декрета, приглашая художников и писателей конкурировать при создании этого украшения и сочинять надписи» [6].

В 1798 г. Директория воссоздает стену сбора пошлин и возвращает барьерам Леду их первоначальное назначение. Быстрое разрастание Парижа в XIX в. изменяет очертания границ города; присоединение периферийных общин при Второй империи фиксирует новую наружную ограду столицы далеко от застав Королевских откупщиков; ставшие бесполезными павильоны Леду были в большинстве разрушены после 1859 года.

Три барьера и наблюдательный пункт избежали разгрома, и они — единственные сохранившиеся свидетельства колоссального предприятия Леду. Не памятники, а скорее останки, настолько чуждо сейчас этим монументам их окружение, и некоторые из них искажены различными новшествами XIX в. Так, ротонда Монсо (называемая также застава Шартр) была «выражена в полусферический купол Г. Давью; он, кроме того, каннелировал ствол тосканских колонн. Это святотатство показывает непонимание лучшими архитекторами XIX в. архитектуры Леду» [4]. Ротонда Монсо, задуманная как парковое сооружение, потому только и сохранилась (рис. 1, [7]). Затерянные в безмерности площади Данфер-Рошера два павильона старинной заставы д'Анфер (рис. 2, [8]) меньше пострадали. Их фасады не тронуты и до сих пор обрамляют главный южный вход в

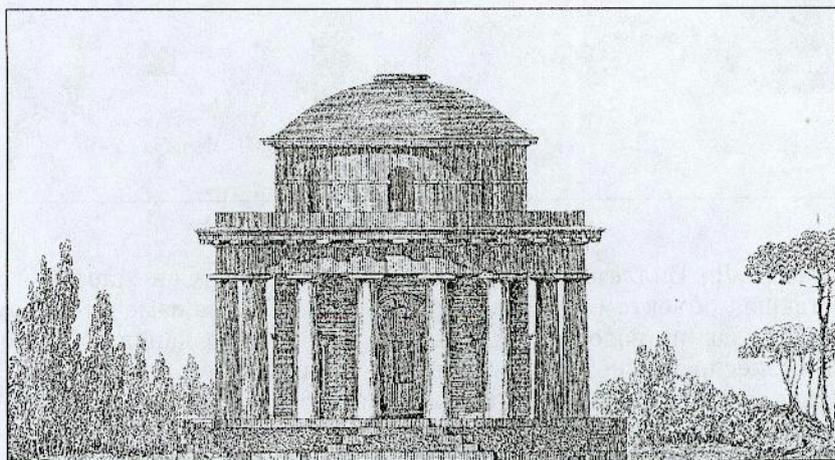


Рис. 1. Ротонда Монсо [7]

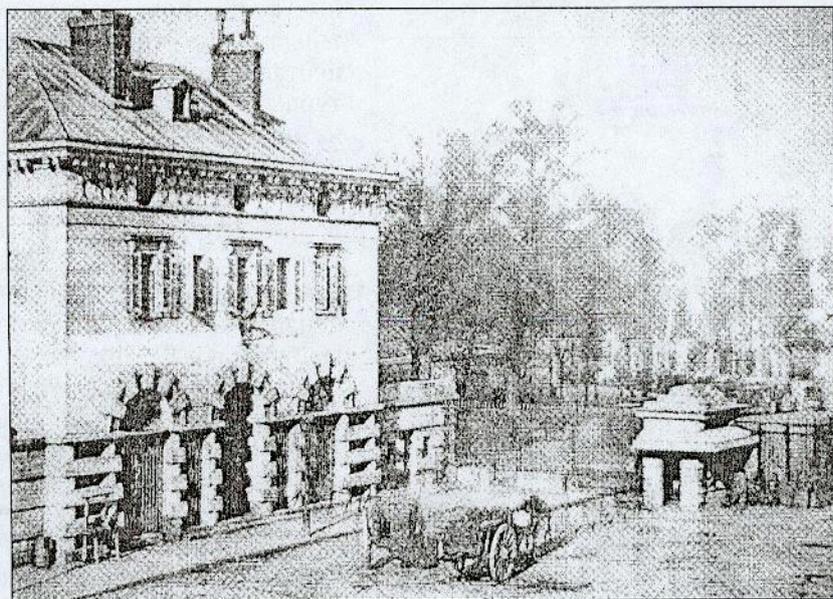


Рис. 2. Застава д'Анфер [8]

Париж (авеню генерала Леклерка, бывшее авеню д'Орлеан), соседствуя с двумя скверами, напоминающими зеленые дворы, где Леду исполнил или задумал присоединенные сооружения. Два павильона заставы Венсан (у входа на площадь Нации, бывшая площадь Трона) не повреждены; но две свободно стоящие колонны (задуманный Леду символ королевской власти) в эпоху Луи-Филиппа были украшены скульптурным декором в стиле, мало соответствующем эстетике Леду (рис. 3, [9]).

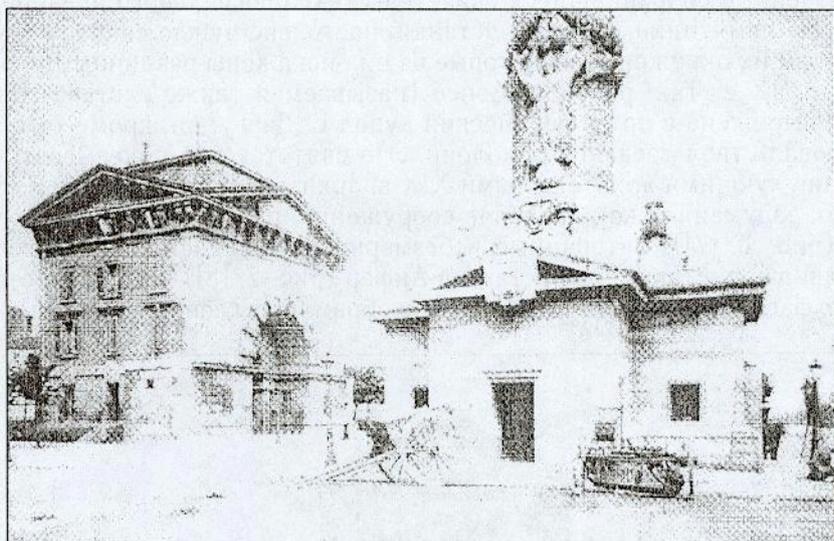


Рис. 3. Застава Венсан [9]

Ротонда Ля Виллетт (в центре двойной Заставы Сен-Мартен и Пантен), ставшая объектом реставрации с начала XIX в. в замечательном положении: создание водоема Ля Виллетт, завершение канала Урк по оси здания вознесло здание почти в категорию символа города (рис. 4, [10]). Играющая роль таможни, она стала частым и обычным сюжетом для рисовальщиков и граверов живописных видов Парижа. Три других барьера — Пасси, Руль и Мэн гравировались Берто, согласно Ж.Л. Приеру (рисунки сохранились в Музее Карнавалет). Гравюры изображали революционные волнения, это было очень живописное зрелище из-за сопоставления толпы и архитектурных фантазий Леду. Один из неизданных документов — текст, написанный самим Леду, хранится в Фонде Колонн Британской Библиотеки в Лондоне. Копия этих «Мемуаров о восьмой ограде Парижа» обнаружена нами в Париже в Национальных архивах Франции. Леду пишет: «если я и не применяю магию стиля, я обладал, по крайней мере, благородной смелостью придавать им (барьерам) повсеместно чистый и простой язык истины. Г-н Колониа (первый приказчик королевских откупщиков) учел момент восприятия; он за-

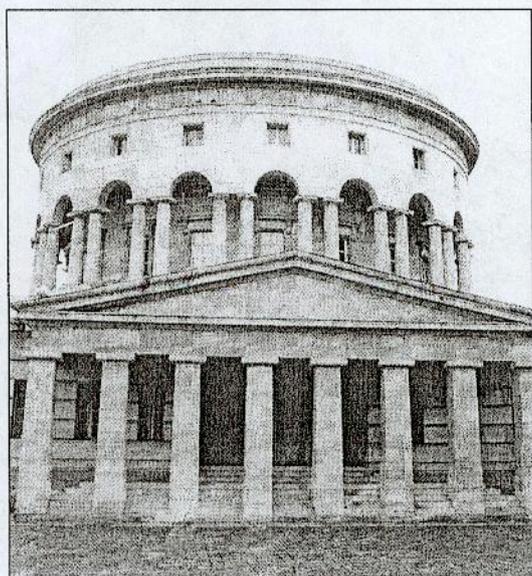


Рис. 4. Застава Ля Виллетт [10]

ставил прочертить широкие линии на различных стенах города, внешние формы новых Пропилей, чтобы ускорить движение, они варьировались до бесконечности, чтобы вознаградить публику за те, которые ей не понравились. Будет желательно, чтобы каждое здание заканчивалось увенчивающей частью и чтобы они были разных форм, чтобы защитить кровли от ветров и представить на различных дистанциях разнообразные картины с варьированными сюжетами, которые могли бы безостановочно радовать глаз» [11]. Таким образом, благодаря этому авторскому свидетельству, мы можем представить себе, как сам Леду определял свой символично-геометрический стиль, отказываясь от «магии» признанного стиля. Для архитектора Леду символично-геометрический стиль парижских барьеров — это «чистый и простой язык истины».

Стилистические направления в архитектуре Леду можно определить как образно-пластическое (первый стиль) и символично-геометрическое (второй стиль). Образно-пластический стиль Леду отличается выразительной пластикой обработки объемов, подчиненной пластической доминанте ордера. Синтаксическая структура этого стиля отличается очевидным приоритетом узнаваемой, «цитирующей» образной составляющей (например, цитируются проекты Палладио, приемы Пиранези, древнегреческие храмы). Вторым стилем Леду мы предлагаем называть символично-геометрическим. Основная его особенность — абсолютный отказ от узнаваемой образной составляющей («простой язык истины»), явный приоритет символической составляющей, минимум пластических эффектов и вызывающая чистота геометрических форм. Леду использует и стилизованный ордер, наряду с геометрическими формами, следуя идее об усовершенствовании природы средствами геометрии. Став предтечей стиля ампир, ведущего свое происхождение от его образно-пластического стиля, Леду в произведениях своего символично-геометрического стиля предугадывает явление функционализма, экспрессионизма, структурализма. Античный ордер дает импульс, а его компоненты получают независимость, для лучшего соответствия общему живописному эффекту. Творчество Леду и его живой протест против архитектурных догм не имеет при своем завершении ничего общего с неоклассицизмом современников архитектора. Самое удивительное — зрелище полной его согласованности с архитектурными формами XX в. Безусловно, это не случайность, но результат эволюции архитектурного таланта, приведшего Леду к значительному опережению собственной эпохи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gallet M. Claude-Nicolas Ledoux (1736–1806)/M. Gallet.— Paris.— 274 p.
2. de Bachaumont L.-D. Mémoires Secrets.../L.-D. de Bachaumont.— 36 vol.— Londres, 1779–1789, 31 octobre, 1785.
3. Ledoux C.-N. L'architecture considérée sous le rapport de l'art, des moeurs et de la législation/C.-N. Ledoux.— T. 1.— De l'imprimerie de H.-L. Perroneau; M.D.CCCIV (1804).— Rééd., Nördlingen; éd. Dr. Alfons Uhl, 1981.
4. Rabreau D., Claude -Nicolas Ledoux (1736–1806)/D. Rabreau//L'architecture et les fastes du temps, Annales du Centre Ledoux.— T. 3.— Paris-Bordeaux, 2000.
5. Peysson J.-M. Le mur d'enceinte des Fermiers généraux, 1784–1791/J.-M. Peysson//Politique, économie, urbanisme, thèse de doctorat de l'Université de Paris-I (exemplaire dactylographié), 1984.
6. Levallet-Haug G. L'architecte Ledoux et la clôture de Paris/G. Levallet-Haug//Société d'iconographie parisienne, 1934.
7. Rabreau D. Claude-Nicolas Ledoux (1736–1806)/D. Rabreau//L'architecture et les fastes du temps, Annales du Centre Ledoux.— T. 3.— Paris-Bordeaux, 2000.— 270 il.
8. Rabreau D. Claude-Nicolas Ledoux (1736–1806)/D. Rabreau//Там же.— Paris-Bordeaux, 2000.— 250 il.

9. Rabreau D. Claude-Nicolas Ledoux (1736–1806)/D. Rebreau // Там же.— Paris-Bordeaux, 2000.— 240 il.
10. Rabreau D. Claude-Nicolas Ledoux (1736–1806)/D. Rebreau // Там же.— Paris-Bordeaux, 2000.— 231 il.
11. Archives Nationales F/7/4774/11; Mémoires de C.-N. Ledoux sur la huitième clôture de Paris.

© Махнева-Барабанова О. А., 2007

Получено 02.04.07

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 728.381

Д. И. ВАСЕНКОВ, инж. (ООО «Коммерсант», г. Новокузнецк)

### МЕТОДИКА ПОИСКА ПЛОЩАДОК СТРОИТЕЛЬСТВА ГАРАЖЕЙ ДЛЯ ЛИЧНЫХ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНОВАННАЯ НА СИСТЕМЕ ИХ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Изложена методика поиска площадок строительства гаражей для личных легковых автомобилей, полученная в результате исследования вопроса их длительного хранения в мировой и отечественной практике. Основой исследований являются требования, которые предъявляются к современным гаражам и к их размещению в застройках владельцами и невладелцами личных легковых автомобилей.

Практика эксплуатации современного жилья показывает, что создание комфортных условий для проживания людей недостижимо без высокоуровневого благоустройства, к средствам достижения которого, в частности, относятся сооружения и помещения для длительного хранения личных легковых автомобилей: гаражи и парки-палетты — гаражи со сквозным стеновым ограждением.

Вопрос длительного хранения личных легковых автомобилей в нашей стране обусловлен не только стремительным ростом автомобилизации, но и абсолютно неудовлетворительным решением его как в прошлом, так и в настоящее время. Сегодня обеспечение населения гаражами, вопреки мировому опыту, практически вынесено за пределы дворов, кварталов и микрорайонов, в санитарно-защитные и контактные зоны. Острая необходимость строительства гаражей существует во всех городах и поселениях России, вне зависимости от их местоположения и возраста. Но особую важность она имеет в поселениях Сибирского федерального округа из-за специфичных природно-климатических, антропогенных и социально-экономических условий.

Вопрос хранения личных легковых автомобилей — составная часть многоветвевой проблемы транспортирования людей. В мировой практике она достаточно успешно решается с помощью комплексных мер: улучшения работы общественного транспорта, сокращения времени поездок, ограничения времени стоянок, сокращения и отладки дорожных сетей, организации движения массовых пешеходных людских потоков, хорошо функционирующей единой системы города и пригорода и др. При этом развитие транспорта в целом в последнее время осуществляется на фоне требований энергосбережения и экологии.

В современных условиях радикального изменения социально-экономического уклада разработать и тем более реализовать в нашей стране

концепцию полного транспортного обеспечения населения городов и поселков в настоящее время не представляется возможным. Проблема полного транспортного обеспечения пока может решаться только фрагментарно в виде отдельных задач. Одной из них является задача обеспечения владельцев личных легковых автомобилей гаражами. Для ее решения, прежде всего, требуется научное обоснование. А оно, как доказано мировой практикой, заключается в комплексном учете факторов, отражающих интересы автовладельцев и людей, не имеющих личных автомобилей. Это означает, что поиск рациональных объемно-пространственных решений гаражей и площадок для их строительства должен отражать компромисс между интересами указанных групп населения.

Требования к гаражам и размещению их в застройках исследовались ранее. Результаты этих исследований изложены в [1]. Заметим, что требования определялись и устанавливались в прошедший «доперестроечный» период (1984 г.), в рамках жестких социально-экономических и политических условий до наступления бума в отечественной легковой автомобильной индустрии. В связи с этим они имеют ряд существенных недостатков, которые не позволяют распространить их на теоретические и практические разработки современного уровня.

Во-первых, и это главное, требования имеют недопустимый интегральный характер. Конкретные их пункты в равной мере адресованы к различным по временному функциональному режиму эксплуатации зданиям и сооружениям: стоянкам, паркингам и гаражам.

Во-вторых, в основу требований положены морально и физически устаревшие условия технического обслуживания личных легковых автомобилей и содержания их в местах стоянок.

В-третьих, требования не отражают и не могут отразить необъятную комбинаторику возможных специфических условий в реальных застройках.

В связи с отмеченными недостатками и с целью адаптации требований к современным условиям автором статьи произведена необходимая фильтрация требований, в результате которой они четко откорреспондированы только к гаражам и конкретным имущественным группам населения. Установлено, что для владельца личного легкового автомобиля необходимы, например: сохранность автомобиля, экономия денежных средств на строительство гаража, размещение гаража в пределах пешей доступности; а для невладеющего необходимыми: полное удовлетворение потребностей населения в гаражах, организация и безопасность движения транспорта и пешеходов, охрана окружающей среды.

Многофакторный анализ вышеуказанных требований показал, что в условиях реального проектирования универсальным инструментом для компромиссного учета интересов всего населения в застройках может быть только всеобъемлющая система объемно-пространственных структур гаражей.

Мировая практика проектирования и строительства гаражей для личных легковых автомобилей имеет в своем арсенале широкую палитру структур, но на сегодняшний день информация о ней мала и бессистемна. Фрагменты ее содержатся в публикациях [2–6]. Заметим, что указанные публикации, за исключением последней, значительно устарели, кроме того, они стали большой редкостью в отечественных библиотечных фондах. В результате, проектировщик сегодня вынужденно опирается только на устаревшие нормативные документы по проектированию и строительству гаражей (СНиП, ВСН), далекие от полноты и совершенства, а в наших городах и поселках гаражи как полноценные компенсационные сооружения практически отсутствуют. Натурные обследования показывают, что структуры гаражей, построенных и эксплуатируемых в настоящее время, весьма ограничены. Подавляющее распространение имеют

одноэтажные блоки боксов, занимающие недопустимо большие территории. Более рациональные современные структурные решения единичны. Особенно это касается гаражей, встроенных в жилые здания и пристроенных к ним.

Проведенная систематизация объемно-пространственных структур показала, что все их разнообразие сводится к двум разновидностям: отдельно стоящие и встроенно-пристроенные. В составе первой разновидности выявлено 20 структурных единиц: отдельные боксы, ленты из них, боксы с двухъярусным хранением автомобилей, блоки боксов, расположенные на террасах в один и два ряда. Установлено, что наиболее распространенными гаражами в мировой практике в настоящее время являются многоэтажные рамповые. Российская практика пока идет в русле зарубежной, так как срабатывает стереотип обязательной постановки автомобиля в гараж автовладельцем. В гаражах системы «Бауссер» с подвижными лифтами, в статорных с поворотными площадками для хранения и роторных с подъемно-поворотными сердечниками загрузка-выгрузка автомобилей полу- или полностью механизирована. Гараж-полка характеризуется отсутствием стационарных устройств для загрузки-выгрузки; она осуществляется автопогрузчиками. В условиях быстрого растущей автомобилизации весьма перспективны гаражи-мосты с большой вместимостью, а патерностерные гаражи оказываются незаменимыми в условиях земельного дефицита.

Второй структурной разновидностью гаражей являются встроенные и пристроенные, для которых до настоящего времени не существовало какой-либо классификации. Автором впервые проведена работа в этом направлении. Здесь выявлена 21 структура. Это — гаражи, встроенные непосредственно в объемы зданий в уровнях: подземных, цокольных, первых и верхних этажей. Выявлен также структурный ряд, в котором гаражи частично выходят из контуров зданий, в над- и подземное пространство. Встречаются также гаражи, пристраиваемые к зданиям.

К встроенно-пристроенным также относятся: тоннельные, подмостные, подпорные, надмагистральные, настенные, многоцелевые, надводные, тепло-, ветро- и звукозащитные.

Совместный анализ факторов, отражающих общественные интересы и интересы автовладельцев, а также развернутой и адаптированной системы структур, показывает, что с помощью комплексного их учета в процессе поиска рациональных площадок строительства гаражей для личных автомобилей можно достичь компромисса противоположных требований владельцев и невладельцев автомобилей.

На современном этапе в качестве инструмента достаточного комплексного учета отмеченных аспектов поиска предложена специальная методика предпроектного поиска площадок. Она представляет собой строго определенный набор компонентов порядка проведения подготовительных, аналитических, расчетных, клаузурных, эскизных и графических работ, представленных в удобной для пользования табличной форме. Компонент методики, показанный в таблице под пунктом 6, нужно считать рекомендательным, адресованным к специалистам, имеющим небольшой опыт проектирования гаражей и поиска площадок для их строительства.

Для подтверждения научной обоснованности и практической состоятельности результатов исследований автором статьи единолично и в соавторстве выполнено достаточное количество работ по внедрению. Наиболее значимые из них выполнены как предпроектные поиски площадок для строительства гаражей в реконструируемых кварталах постройки 1930–1980-х гг., а также во вновь организуемых застройках. Кроме того, по результатам проведенных исследований издано специальное «Пособие

## Методика предпроектного поиска площадок для строительства гаражей

Последовательность в реализации компонентов методики	Компоненты существующей методики и новации
1	<b>Изучение и учет факторов, отражающих общественные интересы и интересы владельцев автомобилей</b>
2	Предварительное камеральное определение площадок (максимальное количество), пригодных для размещения гаражей
3	Определение мест размещения площадок, составление карт масштаба 1:5000 размещения гаражей
4	<b>Подбор наиболее рациональных структур гаражей для площадок</b>
5	Анализ участков на съемках масштаба 1:500 и в натуральных условиях
6	<b>Определение возможного объема (мощности) гаражей по участкам строительства с помощью планировочных схем гаражей-аналогов из передовой отечественной и зарубежной практики</b>
7	Выполнение схем генеральных планов по каждому участку на съемках масштаба 1:500
8	Утверждение площадок под размещение гаражей, предусмотренных схемами, являющееся разрешением на их дальнейшее проектирование

Примечание. Выделенный текст — новации

по поиску площадок для строительства гаражей на селитебных территориях Кемеровской области» [7].

Работы по внедрению дают основание считать, что основным критерием практической значимости проведенных исследований является научно обоснованная и опробованная на практике методика предпроектного поиска площадок строительства гаражей для личных легковых автомобилей, расширенная и усовершенствованная в части учета требований к гаражам, всеобъемлющей их структуры и опыта мирового строительства. Научная основа методики на стадии предпроектного поиска обеспечивает оптимум проектируемых систем «площадка-здание».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестокас В. В. Гаражи и стоянки: Учеб. пособие для вузов / В. В. Шестокас, В. П. Адомавичус и др.: Под общ. ред. В. В. Шестокаса. — М.: Стройиздат, 1984. — 214 с.
2. Андрисен Б. Гаражи. Проектирование и строительство / Б. Андрисен, Г. Бенфельд, П. Бенекс и др.: Под ред. О. Силла; Пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана. — М.: Стройиздат, 1986. — 391 с.
3. Голубев Г. Е. Автомобильные стоянки и гаражи в застройке городов / Г. Е. Голубев. — М.: Стройиздат, 1988. — 252 с.
4. Афанасьев Л. Л. Гаражи и станции технического обслуживания автомобилей. (Альбом чертежей) / Л. Л. Афанасьев, А. А. Маслов, Б. С. Колясинский: 3-е изд., перераб. — М.: Транспорт, 1980. — 216 с.
5. Гольденберг Ю. А. Автовокзалы и пассажирские автостанции / Ю. А. Гольденберг. — М.: Изд-во «Транспорт», 1971. — 160 с.
6. Серебров Б. Ф. Многоэтажные гаражи и автостоянки: Учеб. пособие / Б. Ф. Серебров. — Новосибирск: НГАХА, 2005. — 131 с.
7. Назаренко И. К. Пособие по градостроительно-архитектурному поиску площадок строительства гаражей для личных автомобилей на селитебных территориях Кемеровской области / И. К. Назаренко, Д. И. Васенков. — Новокузнецк: ОАО «Новокузнецкий полиграфкомбинат», 2006. — 55 с.

© Васенков Д. И., 2007

Получено после доработки 03.04.07

А. П. КРИВОРОТОВ, д-р тех. наук, проф., А. В. ЛУБЯГИН, П. А. САВКОВ, П. В. ЗУБАЧЕВ, инженеры (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## К ОЦЕНКЕ СЖИМАЕМОСТИ ГЕОТЕХНОГЕННЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Дана оценка влияния объемной доли жестких включений и начальных деформационных характеристик на деформационные показатели гетерогенных сред. Установлена принципиальная возможность практического использования упрощенных расчетных схем, применяемых для оценки деформационных свойств гетерогенных сред. Полученные результаты подтверждены опытом устройства фундаментов на геотехногенных массивах, обладающих свойствами гетерогенных сред.

При возведении зданий и сооружений на грунтовых основаниях типа «геотехногенного массива» [1], улучшенных инъецированием песчано-цементной смеси («раствора») или другими методами, уже на стадии проектирования возникает вопрос о надежности определения деформационных характеристик таких оснований. Имеющиеся попытки оценки свойств геотехногенного массива по измененным свойствам природного грунта без учета влияния линз затвердевшего раствора следует признать бесперспективными [2]. Полевые испытания свойств геотехногенного массива с применением штампов больших размеров, естественно, дают более надежные результаты, но эти испытания являются трудоемкими, дорогостоящими, длительными.

Из имеющихся теоретических методов оценки свойств массивов из гетерогенных материалов заслуживают внимания методы, освещенные в некоторых литературных источниках [3–5] и учитывающие различный характер жестких включений, имеющих определенную форму и определенную ориентацию в массиве заполнителя («матрицы» [6]).

Объемный модуль деформации, модуль сдвига и коэффициент Пуассона гомогенного материала, «эквивалентного» гетерогенному ( $K$ ,  $G$  и  $\nu$  соответственно), устанавливаются по зависимостям [5]:

$$K = K_i + K_s \cdot m; \quad (1)$$

$$G = G_s \cdot m + G_i \cdot n; \quad (2)$$

$$\nu = (K - 2G) / [2(K - G)]. \quad (3)$$

Здесь  $K_i$  и  $G_i$  — модули заполнителя;  $K_s$  и  $G_s$  — модули материала включений;

$m$  и  $n$  — доли (по объему) материала включений и заполнителя соответственно;  $m + n = 1$ .

Далее кавычки в определении «эквивалентный» опускаются.

Объемные модули и модули сдвига для линейно деформируемого («упругого») материала заполнителя и включений вычисляются по известным зависимостям:

$$K_i = E_i / (1 - 2\nu_i), \quad K_s = E_s / (1 - 2\nu_s); \quad (4)$$

$$G_i = E_i / [2(1 + \nu_i)], \quad G_s = E_s / [2(1 + \nu_s)]. \quad (5)$$

По аналогичным зависимостям вычисляются модуль деформации  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  гомогенной среды, эквивалентной по деформируемости исходному гетерогенному материалу.

По имеющимся опытным данным [2], модуль упругости материала включений  $E_s = 400$  МПа, а коэффициент Пуассона  $\nu_s = 0,2$ .

Имея значения модуля деформации материала заполнителя  $E_i$  и коэффициента  $\nu_i$ , а также известные доли  $m$  и  $n$ , можно установить эквивалентный модуль деформации  $E$  и  $E'$ :

$$E = 2G(1 + \nu); \quad (6') \quad E' = K(1 - 2\nu). \quad (6)$$

Значения  $\nu$  определяются по зависимости (3).

Результаты подобных вычислений для случаев  $\nu_i = 0,3$  и  $E_i = 2,5; 5,0; 7,5; 10$  МПа представлены на рисунке.

В связи с тем, что значения  $E$  и  $E'$  различаются почти вдвое, на рисунке приведены осредненные значения

$$E_{cp} = (E + E') / 2. \quad (7)$$

Полученные результаты аппроксимируются зависимостью (МПа):

$$E_{cp} = (0,715E_i + 3,57) + 294(n - 0,01).$$

С практической точки зрения в запас надежности вычислений модуля деформации гетерогенной среды следует использовать значение  $E'$  (6'). В этом случае

$$E' = [0,386(E_i - 2) + 3,4] + (n - 0,01) \cdot 155, \text{ МПа.}$$

Коэффициент Пуассона  $\nu$  материала геотехногенного массива в рассмотренных случаях изменялся в пределах  $0,37 \div 0,40$ , т.е. превышал аналогичный показатель материала заполнителя ( $\nu_i = 0,3$ ).

Как следует из рисунка, влияние величины модуля деформации заполнителя на величину эквивалентного модуля  $E_{cp}$  наиболее велико при малом содержании включений и заметно уменьшается при увеличении доли включений  $m$ .

Задача о напряженно-деформированном состоянии гетерогенной линейно деформируемой («упругой») среды в случае идеально выпрямленных и регулярно расположенных по сечению волокон (включений) решена строго [3, 4]. При этом установлено, что внутреннее поле напряжений в такой среде можно разделить на два типа. Нас будет интересовать первый тип (вид) взаимодействия волокон с заполнителем, когда объемное содержание волокон может быть любым, но не превышающим 50% общего объема среды. Полученные результаты характерны для отчетливо выраженной деформационно анизотропной среды.

По направлению вдоль волокон эквивалентный модуль упругости среды выражается зависимостью

$$E_{11} = \xi E_a + \eta E_s + \frac{8(\nu_a - \nu_s)^2 \xi \eta G_s}{1 + \eta + \xi \kappa_s + \eta(\kappa_a - 1)G_s / G_a}. \quad (8)$$

Аналогичные характеристики для направления поперек волокон ( $E_{22} = E_{33}$ ) и коэффициенты Пуассона  $\nu_{21} = \nu_{31}$  и  $\nu_{23}$  имеют вид:

$$\frac{1}{E_{22}} = \frac{1}{E_{33}} = \frac{\nu_{21}^2}{E_{11}} + \frac{1}{8G_s} (A + B); \quad (9)$$

$$\nu_{21} = \nu_{31} = \nu_s - \frac{\xi(\kappa_s + 1)(\nu_a - \nu_s)}{1 + \eta + \xi \kappa_s + \eta(\kappa_a - 1)G_s / G_a}; \quad (10)$$

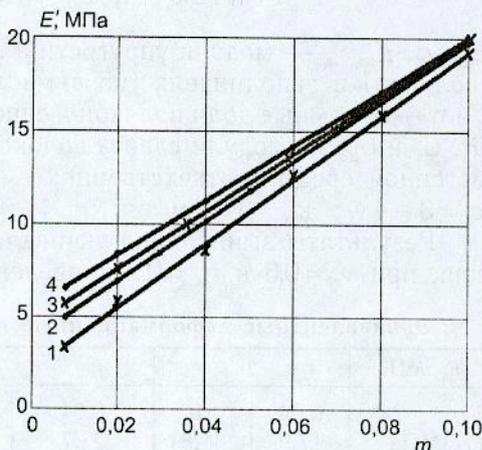


Рис. 1. Модули деформации  $E'$  гомогенной среды, эквивалентной гетерогенной среде по сжимаемости; 1-4 — модули деформации заполнителя  $E_i = 2,5; 5,0; 7,5$  и  $10,0$  МПа соответственно;  $m$  — объемное содержание включений

$$v_{23} / E_{22} = -v_{21}^2 / E_{11} + (B - A) / (8G_s). \quad (11)$$

Здесь

$$A = \frac{2\eta(\kappa_s - 1) + (\kappa_a - 1)(\kappa_s + \xi - \eta)G_s / G_a}{1 + \eta + \xi\kappa_s + \eta(\kappa_a - 1)G_s / G_a}; \quad B = 2G_s / G_{23};$$

$E_a, v_a, E_s, v_s$  — модули упругости и коэффициенты Пуассона включений (волокон) и заполнителя (по символике [3]);

$\xi$  и  $\eta$  — объемные доли волокон и заполнителя соответственно,  $\xi + \eta = 1$ ;

$G_a, G_s$  и  $G_{23}$  — модули сдвига волокон, заполнителя и эквивалентной гомогенной среды соответственно;

$\kappa_s = 3 - 4v_s$ ;  $\kappa_a = 3 - 4v_a$ .

Результаты вычисления эквивалентных деформационных характеристик при  $v_s = 0,3$  и  $v_a = 0,2$  приведены в таблице.

Эквивалентные деформационные характеристики гомогенной среды

$E_s$ , МПа	2		6		10		14	
$\xi$	0,04	0,10	0,04	0,10	0,04	0,10	0,04	0,10
$E_{11}$ , МПа	17,9	41,8	21,7	45,4	25,6	49,0	29,4	52,6
$v_{21}$	0,305	0,313	0,305	0,313	0,305	0,313	0,305	0,313
$E_{22}$ , МПа	2,30	2,94	6,8	7,6	11,0	12,3	15,9	17,4
$v_{23}$	0,348	0,352	0,374	0,394	0,358	0,374	0,356	0,378

Как видно из таблицы, эквивалентный модуль упругости  $E_{11} \gg E_s$ , в то время как в направлении поперек волокон значения  $E_{22} = E_{33}$  возрастают за счет армирования среды волокнами значительно медленнее. Как и следовало ожидать, увеличение армирования среды (при возрастании показателя  $\xi$ ) приводит к значительному увеличению эквивалентных модулей упругости, особенно характеристики  $E_{11}$ .

Величина модуля упругости среды  $E_s$  заметно влияет на значения эквивалентных модулей при любом относительном содержании волокон  $\xi$ . Эквивалентные значения коэффициентов Пуассона  $v_{21}$  и  $v_{23}$  превышают аналогичные показатели среды  $v_s$ , особенно в направлении поперек волокон.

Таким образом, по рассмотренным выше решениям задачи [3], ориентация волокон существенно влияет на сжимаемость гетерогенной среды; гетерогенная среда обладает отчетливо выраженными свойствами деформационной анизотропии, в отличие от выводов, вытекающих из рассмотрения зависимостей (6) или (6'). Кроме того, в направлении поперек волокон значения  $E_{22} = E_{33}$  значительно меньше аналогичных показателей, установленных по зависимостям (6) или (6'), полученным для условий с крупнообломочным грунтом и мелкозернистым заполнителем при различной ориентации включений.

Степень достоверности полученных расчетных значений модулей упругости гетерогенных сред, эквивалентных показателям условных гомогенных сред, может быть установлена соответствующими экспериментальными исследованиями.

Численными экспериментами по определению сжимаемости гетерогенного массива грунта, армированного вертикальными полосами [7], установлен факт увеличения модуля деформации в условиях компрессионного сжатия в 2–4 раза по сравнению с неуплотненным грунтом. При уплотнении и закреплении слабых грунтов оснований методом высоконапорной инъекции песчано-цементного раствора, положение линз затвердевшего раствора носит неупорядоченный характер, поэтому описанные выше расчетные схемы определения эквивалентных показателей геотех-

ногенного массива являются приближенными, а полученные расчетом результаты — ориентировочными, хотя с принципиальной точки зрения они логически объяснимы и подтверждаются достаточно большим количеством случаев стабилизации прогрессирующих осадок и кренов зданий и сооружений на слабых грунтах, усиленных упомянутым методом. Только ООО НПЦ «Фундамент» в г. Новосибирске имеет в своем активе более 150 объектов, где после применения высоконапорного инъецирования песчано-цементного раствора получены положительные результаты. В качестве иллюстрации приведем случай стабилизации крена двух секций шестнадцатипятиэтажных жилых домов по ул. Кавалерийской в Заельцовском районе г. Новосибирска.

Здания выполнены на сплошных железобетонных плитных фундаментах размером 27,6·31,2 м. Среднее давление на грунт на уровне подошвы фундаментов составляет около 280 кН/м<sup>2</sup>. В пределах сжимаемой толщи основания выделено семь инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Непосредственно под подошвой фундаментов залегает твердая непросадочная супесь мощностью слоя около 9 м, подстилаемая водонасыщенными пластичными супесями (ИГЭ-4 и ИГЭ-5). Мощность мягкопластичных супесей 9–10 м. Ниже залегают текучепластичные супеси общей мощностью 9–13 м. Модуль деформации твердой супеси (по таблицам СНиП 2.02.01-83\* [8])  $E_s = 16,4$  МПа, пластичных супесей — 13 МПа, текучепластичных — 10 МПа. По результатам компрессионных испытаний эти показатели во всех случаях были существенно меньше приведенных выше. При этих данных ожидаемая осадка фундаментов секций № 1 и 2 составила 0,49 м, что превышает предельно допустимое значение ( $s_u$ ) = 0,18 м. От начала строительства (март 2002 г.) до 21.01.2004 г. средняя осадка секции № 1 составила 0,08 м и крен  $i = 0,0023$  с продолжающимся интенсивным увеличением. Осадка секции № 2 к этому времени составила лишь 0,01 м (строительные работы здесь только начинались), хотя крен нарастал интенсивнее, чем у секции № 1. Для стабилизации кренов было принято и реализовано одностороннее укрепление основания фундаментов секций № 1 и 2 со стороны наибольшего нарастания осадок. Работы по укреплению основания были закончены к 30.06.2004 г. (секция № 1) и к 9.10.2004 г. (секция № 2). Наблюдения за смещениями фундаментов велись непрерывно. Дополнительная осадка секции № 1 после закрепления основания составила 0,07 м, так что полная осадка до ее стабилизации к маю 2006 г. составила 0,15 м при крене  $i = 0,0016$ .

Дополнительная осадка секции № 2 при незавершенном строительстве к моменту измерения осадок (август 2006 г.) составила 0,105 м, полная измеренная осадка —  $S = 0,12$  м при крене  $i = 0,003 < i_u = 0,004$  [8].

Среднее значение модуля деформации  $E_{cp}$  основания секции № 1, установленное по формуле Шлейхера, при упомянутых исходных данных составило 32,6 МПа, для секции № 2 — 49 МПа.

Области перенапряжений основания (области пластических деформаций) установлены расчетом напряженного состояния основания с применением модели упруго-идеальнопластической бездилатансионной модели грунта (модификация проф. А. Б. Фадеева [9]). Эти участки при нагрузке на основание  $p_{cp} = 300$  кН/м<sup>2</sup> располагались у боковых граней призматического упругого ядра, примыкающего к подошве фундамента, имея глубину распространения  $z_{max} \approx 0,45b$ ;  $b$  — ширина подошвы фундамента. В плане упомянутые участки не выходили за пределы контура фундамента.

Закрепление основания выполнено в пределах областей пластических деформаций основания со стороны фундамента, получившего наи-

большие осадки. Расход песчано-цементного раствора, внесенного в грунтовое основание, составил  $0,04 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  закрепляемого грунта основания. При модуле упругости материала линз затвердевшего раствора, равном  $E_a = 400 \text{ МПа}$  [2], и модуле деформации закрепляемой пластической супеси  $E_s = 13 \text{ МПа}$ , эквивалентный модуль деформации  $E_{\text{ср}}$ , вычисленный по формуле (6'), составил  $21,7 \text{ МПа}$ . При использовании зависимостей (8) и (9) и приведенных значениях  $E_a, E_s, \nu_a, \nu_s, \xi = 0,04$  и  $\eta = 0,96$  получаем  $E_{11} = 29 \text{ МПа}$ . Таким образом, в обоих случаях вычисленные эквивалентные модули меньше установленных расчетом по формуле Шлейхера с использованием фактических (измеренных) осадок секций № 1 и 2 ( $32,6$  и  $49 \text{ МПа}$ ). Расчеты по формулам (7) и (8) дают результаты, обеспечивающие заметные запасы надежности при прогнозировании осадок зданий, расположенных на геотехногенных массивах.

**Выводы.** Влияние природных деформационных характеристик грунтов на величину интегральных показателей геотехногенного массива с неупорядоченным характером расположения включений сказывается менее заметно, чем для анизотропного массива с включениями в виде параллельно расположенных волокон.

С увеличением доли жестких включений эквивалентные модули деформации существенно увеличиваются. В направлении поперек волокнистых включений степень увеличения модулей деформации сравнительно невелика.

Выполненные исследования позволяют утверждать, что эквивалентные модули деформации геотехнических массивов без четко выраженной ориентации включений могут быть использованы при оценке деформируемости нескальных оснований, закрепленных методами высоконапорной инъекции, силикатизации, смолизации, цементации и др.

Эквивалентные модули деформации, вычисленные по схеме армирования массива волокнистыми, однонаправленно ориентированными включениями, могут использоваться при расчетах грунтовых оснований, усиленных сваями любого типа, нагелями, при уплотнении основания методом раскатки скважин и др.

При всей схематичности рассмотренных расчетных схем по установлению интегральных деформационных характеристик гетерогенных грунтовых оснований они принципиально верно учитывают объективный факт уменьшения сжимаемости геотехногенного массива по сравнению с его начальными природными свойствами, что подтверждено опытом строительства объектов, выполненных по проектам ООО НПЦ «Фундамент» и другими специализированными строительными организациями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Багдасаров Ю. А. Об устройстве оснований на грунтах второго типа по прочности методом «техногенный массив»/Ю. А. Багдасаров//Основания, фундаменты и механика грунтов.— 1998.— № 6.— С. 11–14.
2. Ланис А. Л. Геотехническое обоснование упрочнения грунтовых оснований методом высоконапорной инъекции/А. Л. Ланис, М. Я. Крицкий//Город и геологические опасности: Матер. междунар. конф. — Санкт-Петербург, 2006.— С. 78–86.
3. Ванин Г. А. Устойчивость оболочек из армированных материалов/Г. А. Ванин, Н. П. Семенюк, Р. Ф. Емельянов.— Киев: Наукова думка, 1978.— 212 с.
4. Ванин Г. А. Моментная механика композитов/Г. А. Ванин//Механика композитных материалов.— М.: Ин-т машиноведения, 2001.— Т. 37.— № 5–6.— С. 621–654.
5. Тер-Мартirosян З. Г. Механика грунтов.— М.: Изд. Ассос. строит. вузов.— М., 2005.— С. 89–105.
6. Осипов В. И. Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «геокомпозит»/В. И. Осипов, С. Д. Филимонов//Основания, фундаменты и механика грунтов.— 2002.— № 5.— С. 15–21.

7. Криворотов А. П. Эффективность уплотнения слабых грунтов методом раскатки скважин / А. П. Криворотов, А. В. Лубягин // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 5. — С. 59–65.
8. СНиП 2.02.01-83\* Основания зданий и сооружений. — 2004. — 40 с.
9. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. — М.: Недра, 1987. — 234 с.

© Криворотов А. П., Лубягин А. В., Савков П. А., Зубачев П. В., 2007

Получено после доработки 28.03.07

УДК 691.004.12

Л. А. СУЛЕЙМАНОВА, канд. техн. наук, доц., И. А. ЕРОХИНА, асп. (Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова); А. Г. СУЛЕЙМАНОВ, директор ООО «Строительная компания ЖБК-1» (г. Белгород)

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Показано, что применение в строительстве ресурсосберегающих материалов и изделий, таких как бетон с повышенной прочностью и высокопрочный для ажурного несущего каркаса ячеистый бетон, гипсобетон, слоистые изделия в комплексе с эффективными теплоизоляционными материалами для ограждающих конструкций, позволит существенно снизить материалоемкость и энергоемкость строительных объектов и значительно повысить эффективность строительной отрасли.

Для производства строительных материалов и изделий используется различное природное сырье, имеющее разную степень технологической готовности. Энергоемкость всех строительных материалов можно снизить за счет квалифицированного выбора исходного сырья. В первую очередь, целесообразно применять такое сырье, которое в большей степени подготовлено самой природой к производству и требующее меньших затрат энергии на его обработку, сырье с дефектностью кристаллических решеток минералов; наличием минералообразующей среды, жидкости, газа; с большей степенью аморфизации минералов и более высокой реакционной способностью. Основные методические положения выбора наименее энергоемкого сырья для производства различных строительных материалов разработаны в БГТУ.

Если сравнить основные строительные материалы по энергоемкости, самым энергоемким строительным материалом является сталь. Наиболее энергоемкий после металла — это цемент, а наименее энергоемкие и материалоемкие — бетон и железобетон [1].

Наши исследования показывают, что структура бетона, и в частности тяжелого, в большей степени неоднородна, дефектна, и это определяет его прочность и долговечность, так как все эти характеристики взаимосвязаны между собой.

Создать однородность структуры бетона простым подбором исходных компонентов крайне затруднительно, если вообще возможно. Однако достичь однородности практически всегда можно за счет очень тонкого совместного измельчения всех составляющих формовочной массы. В процессе помола смеси повышается ее однородность по составу, меняется форма и состояние поверхности частиц, что в конечном итоге повышает интегральную энергию химических связей между элементарными частицами в единице объема материала.

Разрушение материала при помоле — это процесс разрыва в основном химических связей между элементарными частицами твердого тела и разделения его на части. Разрыв связей возникает тогда, когда рас-

стояние между элементарными частицами превышает некоторое критическое значение, после чего силы притяжения между ними перестают действовать. С теоретической точки зрения восстановить эти связи можно, только сближая элементарные частицы между собой на такое расстояние, когда между ними снова возникнут силы притяжения, что возможно при приложении очень больших давлений. В реальных условиях в местах разрыва химических связей на поверхности твердой фазы возникает огромное количество элементарных частиц, обладающих большим некомпенсированным зарядом. В результате на свежесформованную поверхность за сравнительно короткий срок притягиваются пары воды, пылеватые и другие частицы, и поверхностная энергия твердой фазы быстро уменьшается.

Тонкоизмельченная масса будет иметь повышенную водопотребность, что крайне нежелательно. Для снижения водопотребности такой смеси необходимо вводить в нее суперпластификаторы и модификаторы бетона, желательно при помеле применять интенсивные способы перемешивания и уплотнения особо жестких смесей с низким В/Ц или же аналогичные способы уплотнения сухих смесей с последующей их пропиткой водой без или под давлением.

Технология должна создавать условия для максимального сближения частиц твердой фазы при уплотнении и твердении бетона, что будет способствовать возникновению большего количества более прочных связей между составляющими смеси. Полученный таким способом бетон в наших опытах достигал прочности 150 МПа и более. Практика показывает, что увеличение прочности как тяжелого, так и легкого бетонов, например, с 40...50 до 60...80 МПа позволяет не только уменьшить объем бетона и массу конструкций на 20...25%, расход металла на 10...15%, снизить трудоемкость изделий, но и существенно повысить их долговечность со всеми вытекающими отсюда материальными и энергетическими выгодами [2]. При увеличении же прочности бетона до 100...150 МПа и выше можно достичь еще большего эффекта.

Высокопрочные бетоны должны использоваться в основном для изготовления облегченных прочных и долговечных железобетонных несущих каркасов и конструкций зданий и сооружений. На смену морально устаревшим пустотным перекрытиям и покрытиям (тяжелым, металло- и энергоемким с неудовлетворительной тепло- и звукоизоляцией) должны прийти облегченные, металло- и энергосберегающие слоистые перекрытия и покрытия с лучшими звуко-, теплоизоляционными качествами и технико-экономическими показателями из высокопрочного тяжелого и легкого бетона на пористых заполнителях.

Если сравнить по материалоемкости и энергоемкости все виды бетонов, то наиболее эффективен для изготовления стеновых изделий ячеистый бетон. Характеристики автоклавного ячеистого бетона: средняя плотность 400...700 кг/м<sup>3</sup>; прочность на сжатие 2...7 МПа; морозостойкость F15...F35; теплопроводность 0,1...0,18 Вт/мК, т. е. материал не совсем отвечает стандарту [3]. Неавтоклавный пенобетон имеет худшие характеристики. Поэтому задача заключается в том, чтобы получить и использовать менее энергоемкий неавтоклавный ячеистый бетон, не уступающий автоклавному по качеству, в том числе и при изготовлении монолитных стеновых конструкций. Эта задача успешно решается в БГТУ. Нами разработан общий алгоритм получения новых материалов с требуемыми показателями качества, с использованием которого созданы новые технологии ячеистобетонных изделий — вибровакуумная, электрофизическая и технология производства ячеистого бетона из холодных формовочных смесей, и на этой основе получен неавтоклавный ячеистый бетон со средней плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup> и

более и прочностью 1...2 МПа и выше. Электрофизическая технология позволяет также изготавливать качественные монолитные ячеистобетонные изделия в построечных неблагоприятных условиях.

Весьма эффективным и малозатратным стеновым материалом, незаслуженно отнесенным на задний план, является бетон на основе гипса и композиционного гипсового вяжущего. Этот материал отличается хорошим внешним видом, экологической чистотой, сравнительно малой средней плотностью (300...1500 кг/м<sup>3</sup>) и теплопроводностью, несгораемостью, достаточной несущей способностью и долговечностью. Материал легко обрабатывается и быстро твердеет без тепловой обработки. Гипсобетон можно с успехом применять для изготовления внутренних стеновых панелей и блоков, перегородок, отделочных плит, гипсокартонных листов, архитектурных изделий, сухих смесей и других изделий, эксплуатирующихся в сухих условиях. Бетоны на основе композиционного гипсового вяжущего могут использоваться для производства наружных стен, перегородок, легких перекрытий, сантехкабин, вентиляционных блоков, полов, гипсоволокнистых плит, для изготовления монолитных изделий в построечных условиях и т.д. Применение бетона на гипсовом вяжущем вместо портландцемента позволяет отказаться от тепловой обработки, что экономит 200 кг условного топлива на 1 м<sup>3</sup> изделий, снижает металлоемкость производства в 2...2,5 раза, расход электрической энергии — в 2 раза, повышает производительность труда в 1,8...2,5 раза [4].

Один из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов — сокращение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, через изоляцию теплопроводов и технологического оборудования. На отопление зданий в России расходуется ежегодно по разным источникам 200...240 млн т условного топлива, при этом до 30% тепловой энергии теряется в окружающую среду. Для удовлетворения всех потребностей строительства необходимо производить и применять в год 45 млн м<sup>3</sup> волокнистых теплоизоляционных изделий (в 2001 г. выпущено всего 6,5 млн м<sup>3</sup>) и 30 млн м<sup>3</sup> остальных [5]. Многие из производимых на сегодня теплоизоляционных материалов имеют существенные и часто неприемлемые недостатки. С теплотехнической точки зрения наиболее эффективны и применимы на практике трехслойные стеновые панели с утеплителем из пенопласта. Но они более трудоемкие и менее пожаростойчивые. Для них характерны и некоторые другие недостатки. Альтернативой им по теплотехническим и другим характеристикам могут служить однослойные ограждающие конструкции из ячеистого бетона со средней плотностью 450...500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 3...4 МПа, которые менее трудоемки и более долговечны. Однослойные самонесущие стены зданий высотой до 4...5 этажей целесообразно строить из мелких ячеистобетонных блоков со средней плотностью 400...500 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 2...4 МПа, так как это приведет к существенной экономии дорогостоящего и энергоемкого металла. Для малоэтажного строительства возможно применение также гидрофобизированных ячеистобетонных блоков со средней плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 1...2 МПа, в том числе с облицовкой из кирпича и других материалов. Для малоэтажного монолитного домостроения предлагается применять неавтоклавный газобетон со средней плотностью 400...600 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 2...4 МПа. Стены в этом случае не имеют швов, обладают необходимыми теплотехническими и звукоизоляционными качествами, меньшими трудоемкостью и энергоемкостью.

Таким образом, применение в строительстве ресурсосберегающих материалов позволит существенно снизить материалоемкость и энергоемкость строительных объектов и значительно повысить эффективность строительной отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов К. В. Взгляд на будущее бетона и железобетона/К. В. Михайлов и др.//Бетон и железобетон.— 1996.— № 6.— С. 2–5.
2. Беликов В. А. Сборные железобетонные конструкции из высокопрочного бетона/В. А. Беликов и др.— М.: Стройиздат, 1986.— 184 с.
3. ВНИИЭСМ. Современное состояние промышленности строительных материалов и стройиндустрии в России и за рубежом.— М., 2002.— 70 с.
4. Ферронская А. В. Эксплуатационные свойства бетонов на основе композиционного гипсового вяжущего/А. В. Ферронская и др.//Строительные материалы.— 1998.— № 6.— С. 34–36.
5. Овчаренко Е. Г. Основные направления развития и производства эффективных теплоизоляционных материалов/Е. Г. Овчаренко и др.//Строительные материалы.— 1996.— № 6.— С. 2–5.

© Сулейманова Л. А., Ерохина И. А., Сулейманов А. Г., 2007

Получено 29.05.07

## В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.011.2 : 620.171.5

Г. Н. АЛБАУТ, д-р техн. наук, проф., В. В. ПУРТОВ, канд. техн. наук, доц., А. В. ПАВЛИК, М. В. ТАБАНЮХОВА, ст. преподаватели, О. А. МИХЕЕВА инж. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ И ДЮБЕЛЯХ С ЗУБЧАТЫМИ ШАЙБАМИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК

Рассматриваются соединения деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами. Анализируются полученные результаты исследования моделей вышеуказанных соединений поляризационно-оптическим методом. Выполнено сравнение полученных экспериментальных данных для соединений с использованием зубчатой шайбы и без нее.

Важной составляющей в развитии деревянных конструкций является повышение несущей способности их узловых соединений. Заслуживают внимания соединения элементов деревянных конструкций на металлических пластинах-накладках с зубьями-дюбелями, разработанные и исследованные сотрудниками НГАСУ [1, 2]. Использование дюбелей, изготовленных из высокопрочной закаленной стали, позволяет значительно повысить несущую способность и снизить деформативность соединений деревянных элементов по сравнению с соединениями на штампованных металлических зубчатых пластинах (МЗП) и соединениями на обычных проволочных гвоздях.

Для увеличения несущей способности соединений на металлических пластинах и дюбелях предлагается дополнительно использовать штампованные зубчатые шайбы. Целесообразность принятого решения подтверждают результаты исследования работы древесины на смятие в отверстиях малых диаметров, приведенные в работе [3], которые показывают целесообразность рассредоточенной передачи усилий деревянному элементу. В частности, авторы использовали зубчатые шайбы, которые плот-

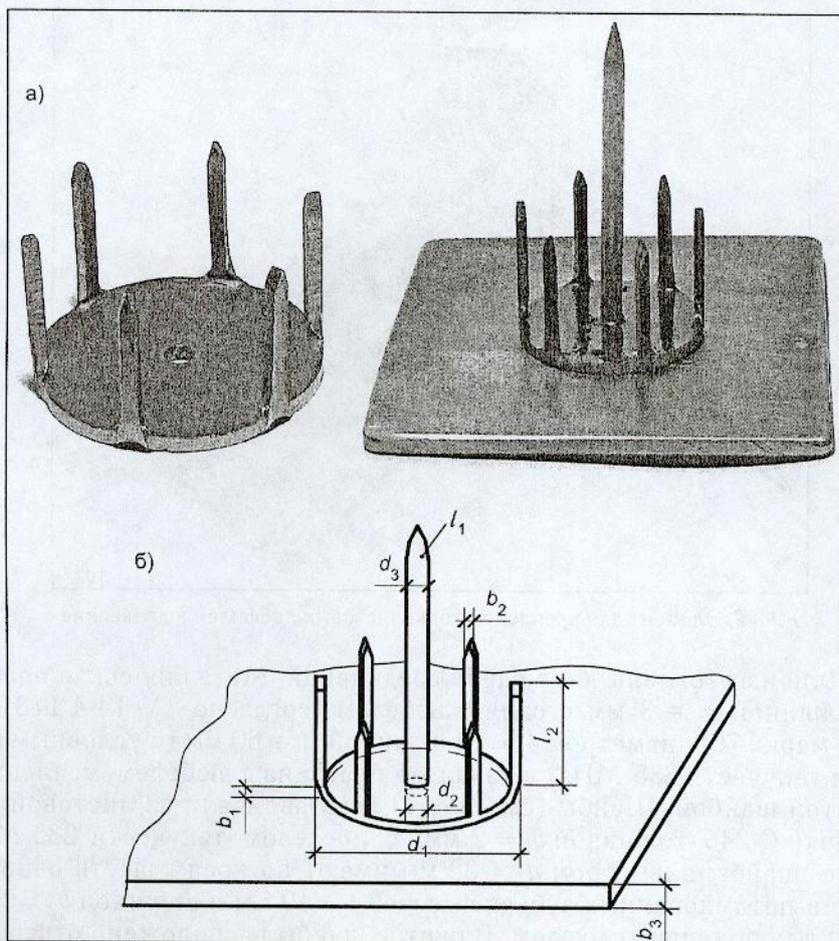


Рис. 1. Штампованная зубчатая шайба и фрагмент металлической зубчатой пластины с дюбелем и зубчатой шайбой (а — фото, б — схема):

$b_1$  — толщина шайбы;  $b_2$  — ширина зуба;  $b_3$  — толщина металлической пластины;  $d_1$  — диаметр шайбы;  $d_2$  — диаметр отверстия под дюбель;  $d_3$  — диаметр дюбеля;  $l_1$  — длина дюбеля;  $l_2$  — высота зуба шайбы с учетом заостренной части

но насаживаются на дюбели (рис. 1) [4]. Шайбы изготавливаются из листовой стали и имеют по краям односторонние выштампованные зубья, отогнутые под прямым углом. Помимо использования в соединениях деревянных элементов, предлагаемые дюбели с насаженной зубчатой шайбой могут выступать как самостоятельные детали для крепления тонколистовых профилей к древесине (рис. 2).

Конструирование и расчет нагельных соединений в настоящее время рекомендуется проводить в соответствии с указаниями СНиП [5]. Необходимо отметить, что совместная работа штампованных зубчатых шайб и дюбелей-гвоздей ранее не исследовалась. В связи с этим авторами параллельно с проведением натурных испытаний разработанных соединений были выполнены исследования моделей вышеуказанных соединений поляризационно-оптическим методом. Следует отметить, что данный метод исследования использовался для оптимизации нагельных соединений [6].

Цель настоящих исследований — определить характер распределения полей напряжений в древесине и в прикрепляемом к ней тонколистовом профиле в двух типах соединений: 1) на дюбеле; 2) на дюбеле с зубчатой шайбой. И при этом наглядно убедиться в преимуществах второго соединения.

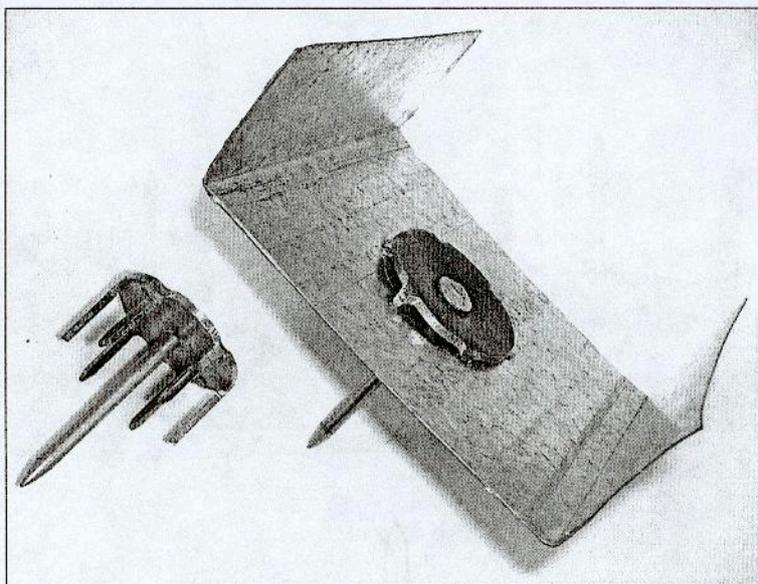


Рис. 2. Элемент для крепления тонколистовых профилей к древесине

Были изготовлены две модели соединений. Металлическая пластина толщиной  $b_3 = 3$  мм с одним дюбелем (согласно ТУ 14-4-1731-92, сталь марки 70) диаметром 4,5 мм и длиной  $l_1 = 60$  мм (с условным пределом текучести 835 МПа) и такая же пластина с дюбелем, усиленным зубчатой шайбой. Шайбы (см. рис. 1) изготавливали из листовой стали марки С 245, толщиной  $b_1 = 2$  мм, с пределом текучести 235 МПа. Такие шайбы диаметром  $d_1 = 38$  мм имеют по краям шесть односторонне выштампованных зубьев высотой  $l_2 = 19$  мм и шириной  $b_2 = 2$  мм, отогнутых под прямым углом. В центре шайбы расположено отверстие под дюбель, диаметром  $d_2 = 4,4$  мм, что обеспечивает ее плотную посадку на дюбель диаметром  $d_3 = 4,5$  мм. Габариты зубчатой шайбы приняты из условия равенства толщины шайбы и диаметров ее зубьев, а расстановка зубьев выполнена согласно СНиП II-25-80. В испытываемых образцах деревянные элементы с прикрепленным к ней тонколистовым профилем моделировались пластинами из пьезооптического оргстекла Э2 с размерами  $70 \times 76 \times 4$  мм и ценой полосы  $\sigma_0^{10} = 1,65$  МПа. Механические характеристики оргстекла следующие: модуль упругости  $E = 3400$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,4$ . Соответствующие характеристики стали, из которой изготовлены дюбели и зубчатая шайба:  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu = 0,25$ . Соотношение модулей упругости стали и оргстекла составляет  $E_{ст} / E_{орг} \approx 62$ , а для стали и дерева вдоль волокон  $E_{ст} / E_{дер} \approx 21$ . Отметим следующее: практически в испытаниях установлено, если соотношение модулей упругости материалов соединения равно 10 и более, то дальнейшее увеличение этого отношения практически не влияет на характер распределения напряжений в более мягком материале. Кроме того, поскольку здесь анизотропный материал (древесина) моделируется изотропным, следует считать, что в результате исследования будет получена только качественная оценка рассматриваемого явления. Увеличивает достоверность анализа тот факт, что в эксперименте осуществляется направленное нагружение моделей по одному вертикальному направлению, соответствующему нагружению вдоль волокон в дереве. В таком случае поперечные напряжения по абсолютной величине много меньше продольных, и их влияние на напряженное состояние элемента невелико.

Исследовалась упругая работа соединений при помощи полярископа, работающего в отраженном свете. Для этого на заднюю поверхность пластин из оргстекла сначала наносился тонкий слой клеевой композиции (клей ЭПЦ) с пониженной вязкостью, который затем покрывался равномерным слоем бронзовой пудры.

Модели двух соединений испытывались в нагрузочном прессе полярископа ППУ-7 при ступенчатом нагружении. В результате были получены комплекты фотографий с картинами интерференционных полос в темном поле полярископа. Полосы соединяют точки с одинаковой разностью главных напряжений или максимальными касательными напряжениями в плоскости пластины. Поэтому картина полос интерференции является фактически полем максимальных касательных напряжений в плоскости пластины, изображенным в горизонталях.

Результаты поляризационно-оптических испытаний и обработка экспериментальных данных приведены в таблице и на рис. 3. В таблице отмечены номера этапов нагружения (1–4), соответствующая им нагрузка на соединение  $F$ , номинальное нагрузочное напряжение  $\sigma_n$ , полученное делением нагрузки на площадь сечения пластины. В результате анализа картин полос интерференции для двух моделей определены и занесены в таблицу следующие данные: расстояния от центра дюбеля до полосы  $n=1$  на каждом этапе ( $l_1$  — для первого образца соединения на дюбеле,  $l_2$  — для второго образца соединения на дюбеле, усиленном зубчатой шайбой); максимальный порядок полос у концентратора  $n'_{1,\max}$  и  $n_{2,\max}$  для двух моделей соответственно. При запрессовке дюбелей и зубчатых шайб в пластинах из оргстекла появились остаточные начальные напряжения. В первом образце они осесимметрично распределены возле отверстия ( $n=1$ ), а во втором их распределение несколько несимметрично, около дюбеля значение порядка полос  $n=2$ . Если эти остаточные напряжения вычесть из суммарных, то получим максимальные касательные напряжения, замеряемые в порядках полос  $n_{1,\max}$  и  $n_{2,\max}$  в модельном материале на границе с дюбелем. Они будут обусловлены только нагружением моделей, в таблице — это вертикальные колонки 6 и 9 с  $n_{1,\max}$  и  $n_{2,\max}$ . В последней 10-й колонке таблицы приведено отношение максимальных напряжений (в порядках полос) в первом образце с дюбелем к соответствующим напряжениям во втором образце (дюбель с зубчатой шайбой). Это отношение составляет 2,46–3,30, т.е. очевидно большое снижение напряжений в соединении с добавлением зубчатой шайбы. Некоторый разброс данных обусловлен мешающим фоном от остаточных напряжений, вызванных запрессовкой металлических зубьев. В дальнейшем будет проведен уточняющий эксперимент со снятием влияния остаточных напряжений.

На рис. 3 приведены фотографии картин полос интерференции для двух типов рассматриваемых соединений (верхний ряд (а) — соединение на дюбеле и нижний ряд (б) — соединение на дюбеле с зубчатой шайбой) для четырех ступеней нагружения. Справа на рис. 3 в горизонталях для обеих моделей показаны схемы перемещений интерференционной полосы с номером  $n=1$  для рассматриваемых ступеней нагружения. Они показывают, что поле вовлечения материала модели в работу с одним дюбелем (поле, очерченное первой полосой) больше, чем соответствующее поле во втором образце. То есть в образце с зубчатой шайбой часть нагрузки взяли на себя зубья, и общее поле напряжений имеет большую площадь, но меньший порядок полос. Таким образом, во втором соединении происходит более равномерное вовлечение материала пластины в работу, поле напряжений по площади увеличилось, но порядок полос небольшой 0,25 ÷ 0,5. Кроме того, в первом образце на последнем этапе появился значительный зазор между

### Результаты поляризационно-оптических испытаний

№ п/п	Нагрузка $F$ , кН	Номинальное напряжение $\sigma_H$ , МПа	Соединение с дюбелем			Соединение с дюбелем и зубчатой шайбой					
			Схема образца с одним дюбелем	Расстояние до 1-й полосы $l_1$ , мм	$n_{1,max}$ (у центра ратора)	$n_{1,max}$ (за вычетом напряжений от запрессовки)	Схема образца с дюбелем и зубчатой шайбой	Расстояние до 1-й полосы, $l_2$ , мм	$n_{2,max}$ (у центра тора)	$n_{2,max}$ (за вычетом напряжений от запрессовки)	
1	2	3		4	5	6		7	8	9	10
1	0	0		0	1,00	0,00		7,0	2,00	0,00	0,00
2	0,5	1,6		5	6,00	5,00		7,0	3,50	1,50	3,30
3	1,5	4,8		8	7,00	6,00		7,0	4,00	2,00	3,00
4	2,5	8,1		11	9,00	8,00		7,0	5,25	3,25	2,46

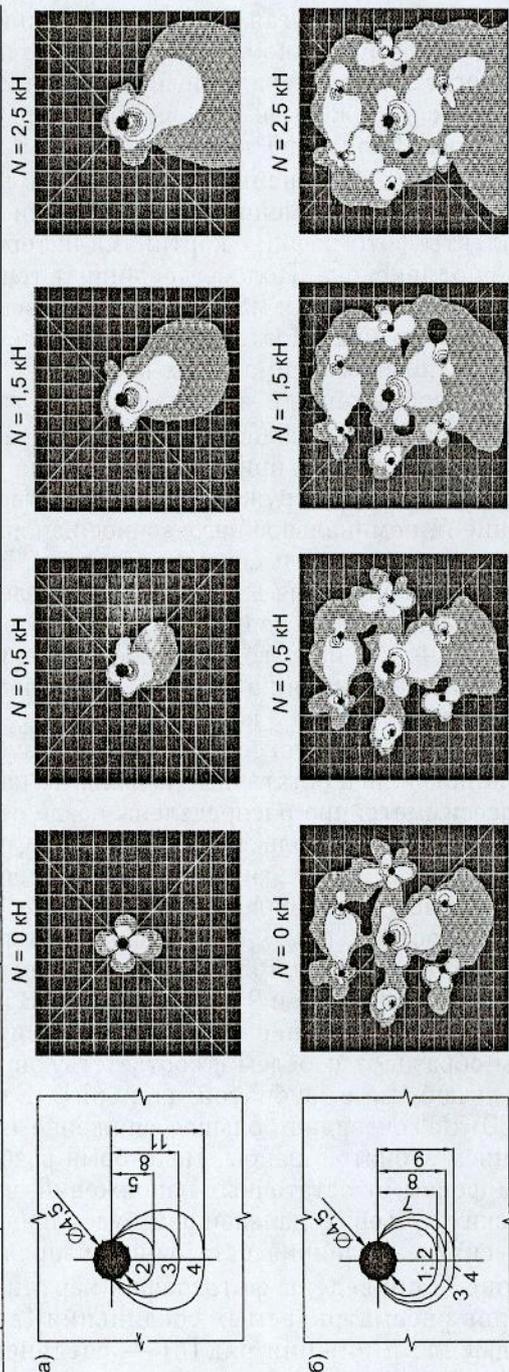


Рис. 3. Поля перемещений напряжений, выявленные при помощи поляризационно-оптического метода, и схемы перемещения интерференционной полосы  $n = 1$  под дюбелем при ступенчатом нагружении исследуемых моделей соединений  $a$  — соединение на металлической пластине с дюбелем;  $b$  — соединение на металлической пластине и дюбеле с зубчатой шайбой

дюбелем и оргстеклом в верхней части, что для конструкции нежелательно (зазор равен 2 мм), во втором образце при такой же нагрузке зазор не образовался.

**Выводы.** Выполнено поляризационно-оптическое испытание двух моделей соединений: на металлической пластине и дюбеле и металлической пластине и дюбеле с зубчатой шайбой. Результаты подтверждают, что во втором случае удалось достигнуть увеличения качеств, положительно сказывающихся на работе соединений:

— снижение максимальных напряжений в месте соединения дюбеля с оргстеклом в 2–3 раза;

— более равномерное распределение напряжений по плоскости, занятой шайбой, и их небольшую величину: в основном  $n = 0,25 \div 0,5$  полосы;

— отсутствие нежелательного зазора между дюбелем и матрицей на противоположной стороне, что также свидетельствует о меньшей деформативности такого соединения;

— построенные поля перемещений первой полосы  $n = 1$  для двух образцов при одинаковой ступенчатой нагрузке подтверждают снижение напряжений в поле второго образца вокруг концентратора напряжения.

Результаты выполненного эксперимента подтверждают тот факт, что постановка зубчатой шайбы в соединениях на металлических пластинах и дюбелях снижает деформативность и обеспечивает более равномерную передачу усилий по поверхности деревянного элемента, чем пластина с дюбелем без зубчатой шайбы. Это делает работу соединения более надежной при эксплуатации в сравнении с аналогичными соединениями без таких шайб, а также позволяет использовать дюбель с насаженной на него зубчатой шайбой как надежный элемент крепления тонколистовой стали к древесине.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев П. А. Исследование соединений деревянных элементов на дюбелях при действии кратковременных нагрузок / П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, В. В. Пуртов // Изв. вузов. Строительство. — 1988. — № 2. — С. 16–21.
2. Пуртов В. В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стальных пластинах и дюбелях / В. В. Пуртов. — Дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск; НГАСУ. — 1988. — 265 с.
3. Пуртов В. В. Исследования работы древесины на смятие в отверстиях малого диаметра / В. В. Пуртов, А. В. Павлик // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 5. — С. 106–110.
4. Пат. № 40772 (Россия) МКИ 7 F 16 В 13/00. Крепежная деталь для соединения деревянных элементов (варианты) / П. А. Дмитриев, В. В. Пуртов и А. В. Павлик: Оpubл. 27.09.04; Бюл. № 27.
5. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 2003. — 30 с.
6. Гребенюк Г. И. Оптимизация нагельных соединений в деревянных конструкциях / Г. И. Гребенюк, Ю. Д. Стрижаков, Г. Н. Албаут и др. // Изв. вузов. Строительство. — 1995. — № 11. — С. 21–26.

© Албаут Г. Н., Пуртов В. В., Павлик А. В., Табанюхова М. В., Михеева О. А., 2007

Получено 12.03.07

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОДАТЛИВОСТИ УКРУПНИТЕЛЬНЫХ СТЫКОВ БАЛОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований податливости укрупнительных стыков конструкций по результатам динамических исследований балок.

При возведении большепролетных и большеразмерных строительных конструкций с заводов-изготовителей на строительную площадку поступают отправочные элементы, которые подвергаются укрупнительной сборке. Как правило, укрупнительные стыки конструкций проектируются и выполняются с жестким сопряжением отдельных отправочных элементов между собой. Однако жесткое сопряжение элементов в реальных конструкциях обладает определенной податливостью хотя бы на уровне деформаций растяжения-сжатия или изгиба, а для конструкций из дерева — еще и податливостью связей.

Рассматриваются деревянные балки с укрупнительными податливыми стыками на нагелях. Экспериментальные исследования выполнялись на однопролетной деревянной балке пролетом 2,9 м с шарнирным опиранием по концам. Сечение балки принималось  $b \times h = 50 \times 150$  мм. На первом этапе численными методами определялись прогибы и частоты основного тона поперечных колебаний балки с одним укрупнительным податливым стыком в середине пролета конструкции [1]. Расчетная схема конструкции приведена на рис. 1.

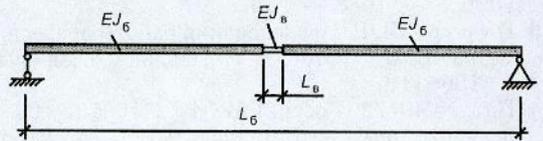


Рис. 1. Расчетная схема балки с одним укрупнительным стыком в середине пролета

Изгибная жесткость конечного элемента-вставки  $EJ_в$ , который имитировал податливый стык, изменялась от нуля (шарнир) до жесткости сечения балки  $EJ_6$  (отсутствие податливого стыка). При определении частот собственных поперечных колебаний в узлы балки прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса конструкции; прогибы определялись при равномерно распределенной статической нагрузке 82,8 Н/м. Для последнего корректного сравнения теоретических и экспериментальных данных предварительно был определен модуль упругости древесины в соответствии с ГОСТ 16483.9-73, который составил 12008 МПа и был принят в теоретическом расчете. Результаты расчета балки с одним укрупнительным стыком (вставкой) приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты численных исследований  
балок с одним укрупнительным  
стыком в середине пролета

Соотношение жесткостей вставки и балки $\frac{EJ_в}{EJ_6}$	Круговая частота основного типа собственных поперечных колебаний балки $\omega_{теор}, c^{-1}$	Прогиб от равномерно распределенной нагрузки $W_{теор}, мм$
1,000	241,7	0,54
0,714	239,8	0,55
0,571	238,1	0,56
0,429	235,5	0,58
0,286	230,5	0,60
0,143	217,3	0,69
0,071	196,4	0,87
0,057	187,9	0,96
0,043	176,0	1,10
0,029	157,6	1,40
0,014	124,8	2,27
0,007	94,5	4,03

При определении частот собственных поперечных колебаний в узлы балки прикладывались сосредоточенные массы от собственного веса конструкции; прогибы определялись при равномерно распределенной статической нагрузке 82,8 Н/м. Для последнего корректного сравнения теоретических и экспериментальных данных предварительно был определен модуль упругости древесины в соответствии с ГОСТ 16483.9-73, который составил 12008 МПа и был принят в теоретическом расчете. Результаты расчета балки с одним укрупнительным стыком (вставкой) приведены в табл. 1.

По результатам численных исследований построены графики изменения частот основного тона и прогибов  $W$  балки в зависимости от соотношения изгибных жесткостей вставки и балки (рис. 2).

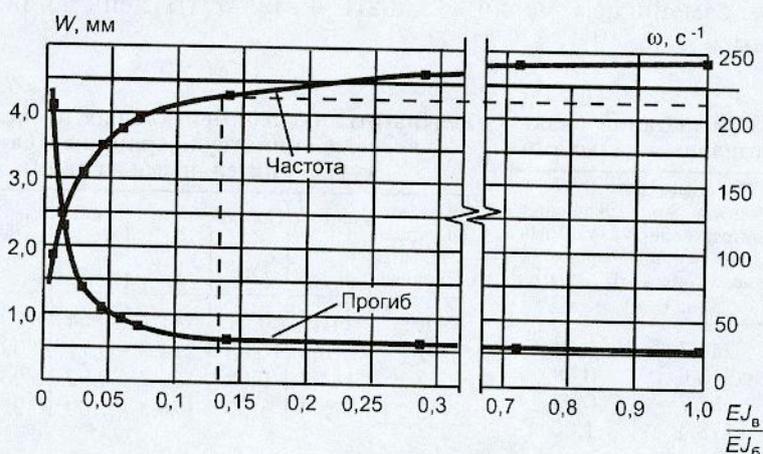


Рис. 2. Изменение частот собственных колебаний балки и ее прогибов в зависимости от жесткости вставки в середине пролета

Анализ кривых прогибов и частот собственных колебаний показывает, что наиболее интенсивно эти параметры изменяются при соотношении изгибных жесткостей вставки и балки при  $EJ_a/EJ_b < 0,3$ . При соотношении изгибных жесткостей вставки и балки в интервале  $EJ_a/EJ_b = 0,3...1,0$  прогибы изменяются в пределах 10%, а частоты колебаний — в пределах 5%.

На втором этапе определялись экспериментальные частоты основного тона поперечных колебаний балки и ее прогибы от равномерно распределенной нагрузки при различном количестве укрупнительных стыков. Балки устанавливались на специальные цилиндрические опоры диаметром 30 мм.

Для создания податливого укрупнительного стыка использовались стальные полосы сечением  $20 \times 1$  мм, крепление осуществлялось стальными нагелями диаметром 4 мм (рис. 3). При этом прочность балки и укрупнительного стыка при экспериментальной нагрузке 82,8 Н/м обеспечены.

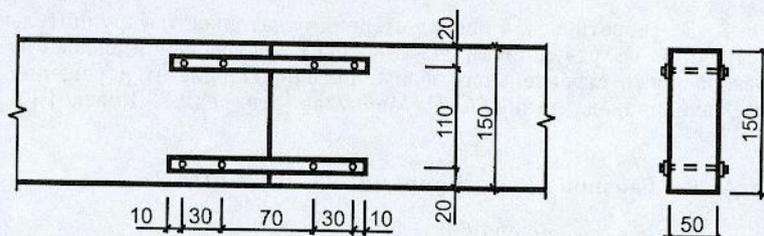


Рис. 3. Конструкция укрупнительного стыка деревянной балки. (Размеры даны в мм)

Поперечные колебания балки возбуждались электродвигателем постоянного тока с дисбалансом  $\approx 15$  г, скорость вращения вала двигателя регулировалась при помощи блока питания. Испытания балки велись в резонансном режиме, частота колебаний измерялась при помощи электронного частотомера марки ЧЗ-63/1. Момент наступления резонанса контролировался осциллографом марки С1-65А по максимальной амплитуде входного сигнала. Сигнал поступал со специально изготовлен-

ного индукционного датчика с усилителем. Кроме того, для контроля полученных результатов частота колебаний балки измерялась также при помощи пьезоэлектрического вибродатчика марки KD-39 в комплекте с перьевым самописцем марки НЗ38-2П. Результаты испытаний балок приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты испытаний балки с укрупнительными стыками

Количество укрупнительных стыков	Экспериментальная частота колебаний основного типа $\omega_{\text{эксп}}, \text{с}^{-1}$	Экспериментальный прогиб $W_{\text{эксп}}, \text{мм}$
Нет	241,7	0,54
1	213,6	0,68
3	184,7	0,93
5	173,4	1,00

Таблица 3  
Результаты экспериментальных и численных исследований двухшарнирных балок с укрупнительными стыками

Количество укрупнительных стыков	Частота $\omega_{\text{эксп}}, \text{с}^{-1}$	Прогиб $W_{\text{эксп}}, \text{мм}$	Частота $\omega_{\text{теор}}, \text{с}^{-1}$	Прогиб $W_{\text{теор}}, \text{мм}$	$\frac{\omega_{\text{экс}}}{\omega_{\text{теор}}}$	$\frac{W_{\text{экс}}}{W_{\text{теор}}}$
	Нет	241,9	0,54	241,7	0,54	1,001
1	213,6	0,68	214,9	0,71	0,994	0,958
3	184,7	0,93	186,7	0,92	0,989	1,011
5	173,4	1,00	178,3	1,00	0,973	1,000

Сопоставляя данные табл. 1 с данными табл. 2 при одном укрупнительном стыке в середине пролета, определяем фактическую изгибную жесткость элемента-вставки. При экспериментальной частоте основного тона поперечных колебаний  $\omega = 213,6 \text{ с}^{-1}$  и экспериментальном прогибе, равном 0,68 мм, изгибная жесткость вставки, соответствующая данной конструкции укрупнительного стыка, составила  $18,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$ .

Подставляем значение фактической жесткости вставки в расчетную схему с тремя и пятью укрупнительными стыками и определяем теоретические частоты и прогибы балок. Результаты расчетов и испытаний балок приведены в табл. 3: сходимость результатов численного и экспериментального исследований находится в пределах 4% как по частотам, так и по прогибам.

Приведенные в статье экспериментальные результаты показывают, что с помощью вибрационного метода можно не только с высокой точностью оценивать степень податливости укрупнительных стыков балок, но качественно и количественно оценить степень дефектности конструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турков А. В. Теоретическая оценка степени податливости укрупнительных стыков конструкций по результатам динамических исследований балок / А. В. Турков // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения [Текст]: Матер. междунар. акад. чтений / С. И. Меркулов (отв. ред.). — Курск: ГТУ, 2006. — С. 207–211.

© Турков А. В., Гвозков П. А., Бояркина О. В., 2007

Получено после доработки 26.02.07

## ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ (исправленные и дополненные)

1. К рукописи, представляемой в редакцию, необходимо приложить:

— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи из расчета 550 рублей за 1 журнальную страницу объема статьи (включая иллюстрации, таблицы и список литературы) за подписью автора или руководителя представляющей статью организации. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);  
— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение;

— аннотацию, кратко излагающую основное содержание рукописи, объемом до 0,3 страницы текста;

— название статьи и фамилии авторов на английском языке.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах с приложенных с записи на дискете 3,5" или CD (3", 5"). Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Число знаков в строке — до 70, строк на странице — до 38. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

• Порядок оформления титульной части статьи (см. в нашем журнале):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии, ученые степени и звания авторов (звания в негосударственных академиях наук не указывать); наименование учреждения, в котором работают авторы;

— название статьи;

— аннотация.

• На полях рукописи простым карандашом указываются места рисунков и таблиц.

• Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи). Приводятся точные почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов.

3. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах Corel Draw или Microsoft Word, записанных с расширением \*.cdr (предпочтительно) или \*.doc, фотографии — TIFF или JREG. Надписи и цифры набрать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше чем 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, а фото присылать в оригинале.

Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4. На обратной стороне каждой из них простым карандашом проставляются порядковый номер и фамилии авторов. Подписи к иллюстрациям печатаются на отдельном листе.

4. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

5. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв: V и v, S и s, O и o, K и k и др., а также трудноразличимых букв l, e, 1 (цифра), n и p, I и J и т.п. пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

6. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052—78 (СИ 528—80).

7. Библиографический указатель под названием «Список литературы» помещается в конце статьи. Источники располагаются в нем в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу (номера источников в списке) в тексте заключаются в квадратные скобки. Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-03 и ГОСТ 7.80-2000. В список литературы вносятся только те работы, которые опубликованы в печати.

Примеры оформления можно найти на INTERNET-сайте ИГАСУ (Сибстрин) по адресу <http://www.sibstrin.ru/izv.html>

8. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

9. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указывается ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присылать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается момент получения редакцией ее окончательного текста.

10. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректур статей авторам не предоставляется.*

11. Гонорар за опубликованные статьи не выплачивается.

12. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

# ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2007 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

## «СТРОИТЕЛЬСТВО»

МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
АССОЦИАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ  
НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
(Сибстрин)

Издается с марта 1958 года

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов строительных вузов и факультетов, работников соответствующих научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал строительных организаций и предприятий.

Объем журнала до 10 печатных листов

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции  
Теория инженерных сооружений  
Строительные материалы и изделия  
Экономика и организация строительства  
Автоматизация и технология строительного производства  
Гидротехническое строительство  
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов  
Строительные и дорожные машины  
Научные проблемы архитектуры и экологии  
Научно-методический  
В лабораториях вузов  
Внедрение научных достижений в производство  
Научная информация

### В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ:

статьи о результатах научных исследований, сообщения о передовом отечественном и зарубежном опыте в строительстве, работы по автоматике и автоматизации производственных процессов, материалы межвузовских научных конференций и совещаний, отдельные разделы диссертаций, материалы о внедрении в производство законченных научных работ, а также обзорные статьи, статьи научно-методического характера, предложения по расчету и проектированию строительных конструкций и инженерных сооружений.

Каталожная цена за 6 месяцев — 540 р.

Цена отдельного номера — 90 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами Союзпечати и отделениями связи. Индекс 70377.

Журнал издается Новосибирским государственным архитектурно-строительным университетом (Сибстрин).

Адрес редакции: 630008, Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,  
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz\_str@sibstrin.ru